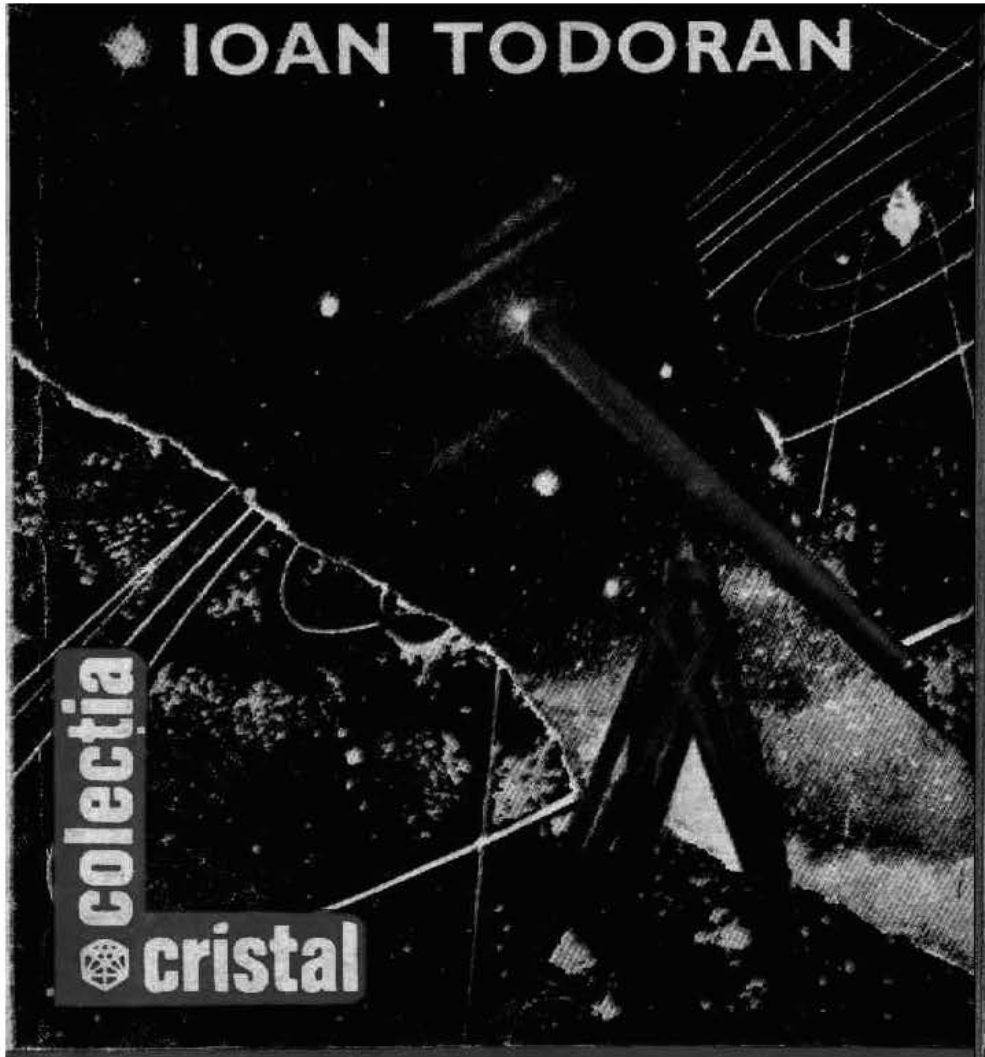
IOAN TODORAN



colecția cristal

CARTEA ASTRONOMULUI AMATOR

EDITURA ALBATROS

Volumul de față se adresează amatorilor observării fenomenelor astronomice, care pornind de la simple observații și elementare considerații teoretice să poată, în cele din urmă, să «se plimbe» în cunoștință de cauză pe fascinanta și mirifica boltă cerească. Pentru a pătrunde cît mai aprofundat în această «lume a stelelor» sînt prezentate și cîteva instrumente astronomice, unora dintre ele dîndu-li-se indicațiile necesare ca să poată fi realizate de constructorul amator.

Pentru a stimula gîndirea și cercetarea științifică a tînărului astronom amator sînt prezentate portretele unor personalități de al căror nume se leagă importante descoperiri în astronomie.

colecția cristal

Lei 9,25

Coperta de DAMÓ ISTVAN

1983
BUCUREȘTI

editura albatros

IOAN TODORAN

CARTEA ASTRONOMULUI AMATOR

colecția cristal

INTRODUCERE

În urmă cu mai bine de 20 de ani, în cadrul Observatorului Astronomic, am organizat și îndrumat cercul de astronomi amatori al elevilor din orașul Cluj. Despre activitatea membrilor acestui cerc s-a scris în presă, unde au fost scoase în evidență contribuțiile aduse la urmărirea sateliților artificiali și observarea eclipselor de Soare. Încă de pe atunci aveam convingerea că astronomia reprezintă un domeniu în care tineretul nostru găsește încă un domeniu adecvat pentru desfășurarea unei activități izvorîte din pasiune. De fapt, pentru cercetarea astronomică au existat întodeauna oameni pasionați, existența acestora fiind determinată atît de necesitățile practice, cît și de setea omului de a cunoaște lumea reală.

Entuziasmul și interesul pentru cercetarea astronomică este o caracteristică a tuturor acelora care iubesc astronomia, indiferent dacă ei sînt amatori sau profesioniști. De altfel, ar fi greu de separat între ele categoriile de persoane care cercetează cu pasiune cerul. De aceea, în cele ce urmează, referindu-ne la astronomii amatori, avem în vedere pe toți aceia care, într-un fel sau altul, contribuie la dobîndirea de noi cunoștințe astronomice și la răspîndirea lor în sînul maselor largi.

Evident, istoria astronomiei este plină de exemple de astronomi care au jucat un rol deosebit de important în cercetarea bolții cerești, dar care și-au început activitatea de cercetare ca astronomi amatori. În plus, am putea considera că aproape fiecare astronom, la începutul activității sale, a fost mai întîi un amator care a activat în cadrul unor cercuri de elevi, cercuri studențești sau de astronomi amatori. Pasiunea față de știința cerului l-a determinat însă să depășească nivelul de amator, în acest scop perfecționîndu-se din punct de vedere al cunoștințelor teoretice și practice privind fizica, matematica și astronomia.

Într-o serie de publicații se fac precizări cu privire la rolul astronomilor amatori în cercetarea corpurilor cerești, în

mod deosebit fiind amintite persoane care s-au dedicat astronomiei numai din pasiune. Astfel, de exemplu, Nicolaus Copernic (1473—1543), care a revoluționat astronomia în timpul Renașterii, era „de profesie" canonic și medic, cercetările de astronomie efectuându-le din dorința de a cunoaște tainele cerului și pentru a scoate astronomia din impasul epiciclelor sistemului geocentric.

Tycho Brahe (1546—1601), fiind trimis la Universitatea din Leipzig pentru studierea dreptului, s-a preocupat de matematică și de observarea stelelor. Aceste preocupări l-au apropiat din ce în ce mai mult de studiul astronomiei, iar prin bunăvoința unor meșteri pricepuți din Augsburg (Germania), ajunge în posesia celor mai perfecționate instrumente din epoca respectivă, instrumente care l-au făcut nemuritor pentru istoria astronomiei.

William Herschel (1738—1822) era instrumentist în fanfara regimentului de gardă din Hanovra. În 1757, părăsește regimentul respectiv și pleacă în Anglia, unde mai întîi se ocupă cu copiatul unor partituri muzicale, pentru ca în 1760 să devină instructor de fanfară în cadrul unei unități militare. Dar, paralel cu activitatea muzicală, în timpul liber, Herschel se ocupă de matematică și astronomie, devine astronom amator abia atunci cînd are ocazia să privească bolta cerească printr-un telescop, fapt care l-a îndemnat să se ocupe foarte serios de problemele construcției instrumentelor astronomice. În felul acesta, el întreprinde observarea sistematică a bolții cerești și înregistrează mai multe rezultate, dintre care semnificativă este descoperirea planetei Uranus, în anul 1781. Spunem că această descoperire este semnificativă deoarece, auzind de ea, George al III-lea, regele Angliei, îi oferă un post de astronom la curtea regală. De aici înainte, în viața lui Herschel astronomia ia locul muzicii, aceasta din urmă rămînînd pe planul al doilea, fapt care i-a permis să facă multe descoperiri și astfel să devină fondatorul astronomiei stelare.

Percival Lowell (1855—1916) activează mai întîi ca diplomat iar mai tîrziu se pasionează de astronomie, fapt care-l determină să renunțe la diplomație. A construit un observator astronomic în Arizona și s-a ocupat de cercetarea planetelor, printre care Marte era pe primul loc. A efectuat calcule care au dus la descoperirea teoretică a planetei Pluto—planeta transneptuniană.

George Ellery Hale (1868—1938) refuză cariera de industriaș și se dedică astronomiei, ajungînd profesor la Universitatea din Chicago. Este fondatorul Observatorului de pe Muntele Palomar, iar telescopul cu diametrul oglinzii de 5 metri a fost construit la indicațiile lui. Vorbind despre Observatorul de la Palomar, astronomii contemporani vorbesc despre Observatorul Hale.

Edwin Powell Hubble (1889—1953) fusese instruit pentru cariera de jurist (avocat), dar încă student fiind, el a audiat cursurile de fizică ale lui Millikan și acela de astronomie al lui Hale, ținute la Universitatea din Chicago. Aceste cursuri l-au determinat să se dedice astronomiei și astfel să scoată în evidență fenomenul expansiunii Universului, punînd astfel bazele astronomiei extragalactice „moderne".

Am amintit aici doar cîteva cazuri în care marii astronomi au renunțat la diferite preocupări inițiale și s-au dedicat astronomiei. Istoria astronomiei însă este plină de astfel de cazuri, în care mari personalități astronomice au activat la început ca astronomi amatori. De asemenea, există foarte multe cazuri în care astronomii amatori nu și-au părăsit preocupările lor de bază, dar au adus contribuții importante și în domeniul astronomiei. Astfel, de exemplu, J.L. Pons, inițial portar la Observatorul din Marsilia, în cadrul activității de astronom amator a descoperit 30 de comete.

S.W. Burnham (1838—1921) era reporter la un ziar din Chicago, dar ca astronom amator s-a preocupat de observarea stelelor duble și multiple, descoperind peste 1 700 de astfel de obiecte.

Frații Fernand și Roger Weber (Roger decedat în 1969) au utilizat obiective de aparate fotografice „de salon" pe care le-au montat în paralel cu o lunetă de marină astfel că, în cursul a 30 de ani, au obținut peste 4 000 clișee fotografice ale unor zone de pe bolta cerească pe care au descoperit peste 200 stele variabile.

La noi, unul dintre cei mai reprezentativi astronomi amatori a fost Victor Anestin (1875—1918), care, în 1907, înființează revista de astronomie pentru marele public, intitulată sugestiv „Orion". Această revistă deosebit de interesantă își încetează apariția în anul 1912. În 1908, același Anestin înființează Societatea astronomilor amatori din România „Flammarion".

Victor Daimaca (1892—1969), pasionat pentru astronomie încă din tinerețe, înființează, ca elev de liceu la Drobeta-Turnu

Severin, un cerc de astronomi amatori. Neobosit cercetător al cerului înstelat, fiind profesor de matematică la Tg. Jiu descoperă 2 comete. Este singurul român descoperitor de comete.

Desigur, au existat multe personalități care trebuiau incluse printre cei amintiți mai sus; spațiul disponibil nu ne permite însă acest lucru, problema rămînînd deschisă în continuare.

În zilele noastre, pe arena internațională activează un număr mare de astronomi amatori în domenii ca: supravegherea planetelor și Soarelui, urmărirea „stelelor căzătoare", căutarea de noi comete, observarea stelelor variabile etc. La noi în țară există multe cercuri de astronomi amatori în care se dezbat probleme importante de astronomie, numeroși astronomi amatori solicită informații privind posibilitățile lor de a contribui în mod concret la cercetarea bolții cerești. Unor astfel de prieteni ai cerului le dedic această carte.

*

Încercînd să venim în sprijinul astronomilor amatori, am axat prezenta expunere pe observarea fenomenelor astronomice, astfel încît, pornind de la observații simple și considerații teoretice elementare, să putem realiza trecerea de la aparență la realitate. În acest scop, în primul capitol ne referim la observarea vizuală (cu ochiul liber) a bolții cerești și la problemele de orientare, care includ sisteme de coordonate și identificarea constelațiilor. Apoi, se introduc cîteva noțiuni fundamentale privind: strălucirea, depărtarea și clasificarea spectrală a stelelor.

Pe măsură ce astronomul amator devine un bun cunoscător al bolții cerești, pasiunea lui se accentuează, crește interesul pentru observarea obiectelor cosmice mai puțin strălucitoare, fapt pentru care el este obligat să-și construiască sau să-și procure instrumente astronomice. Modul cum se construiesc și cum se utilizează astfel de aparate este prezentat în Capitolul 2. Este vorba de instrumentele optice care se achiziționează sau se construiesc relativ ușor și instrumente pentru astronomia invizibilului, care sînt mai pretențioase, dar al căror principiu de funcționare trebuie amintit pentru a ne putea forma o imagine corectă despre accesibilitatea Universului observabil.

În Capitolul 3 sînt expuse probleme privind cercetarea corpurilor din sistemul solar, domeniu în care astronomii amatori pot aduce contribuții valoroase. În acest scop, observațiile pot fi efectuate atît cu ochiul liber, cît și cu aparate optice. Se discută modul în care se efectuează observațiile respective și se dau indicații privind posibilitatea de a valorifica rezultatele obținute.

Capitolul 4 prezintă unele metode de cercetare a Galaxiei noastre, în acest sens fiind scoasă în evidență cooperarea astronomilor pe plan mondial pentru observarea stelelor variabile.

În fine, prin Capitolul 5, trecem de la astronomia galactică la cea extragalactică, aceasta din urmă fiind deosebit de importantă pentru înțelegerea „limitei Universului" accesibil observațiilor din zilele noastre. De aceea, astronomul amator, prin cunoașterea astronomiei extragalactice, dobîndește cunoștințe temeinice privind lumea reală și poate efectua observații asupra unor galaxii situate la milioane sau miliarde de ani lumină. În plus, atunci cînd are posibilitatea să privească prin luneta puternică a unui observator astronomic, el știe ce și cum să observe.

Pentru a veni în ajutorul cititorilor, în unele locuri am inclus tabele cu cele mai semnificative caracteristici ale fenomenelor sau corpurilor cerești din categoria celor prezentate în paragrafele respective.

În cadrul expunerii, am urmărit o trecere treptată de la simplu la complex, am încercat să definim noțiunile utilizate și să aducem cît mai multe amănunte. Ne-am străduit ca această carte să fie astfel elaborată, încît ea să devină utilă pentru astronomii amatori mai puțin experimentați. Pentru aceia care sînt mai pretențioși, după titlul fiecărui paragraf am trecut numerele de ordine ale acelor lucrări citate în bibliografie, unde cititorul poate găsi informații suplimentare.

I.T.

Capitolul 1

OBSERVAREA BOLȚII CEREȘTI

Avînd în vedere scopul urmărit aici — identificarea și observarea stelelor pe bolta cerească, să presupunem că ne aflăm sub cerul liber într-o noapte senină, fără Lună și într-un loc lipsit de lumină artificială. Noaptea trebuie să fie senină, pentru că altfel prezența norilor sau a ceții ar produce acoperirea parțială sau totală a cerului, împiedicînd astfel razele de lumină să ajungă la observatorul terestru — și fără Lună (Luna să nu fie deasupra orizontului), deoarece iluminarea puternică produsă de către aceasta ne-ar împiedica să vedem stelele mai slabe (mai puțin strălucitoare) care, în condiții bune de vizibilitate, apar totuși destul de strălucitoare și se pot vedea bine cu ochiul liber. Condiții nefavorabile pentru observațiile astronomice creează și lumina artificială, cum ar fi, de exemplu, iluminarea electrică a localităților.

1.1. Strălucirea stelelor [5], [7], [20], [23], [27], [35], [41]

La prima vedere, bolta cerească dă impresia că stelele s-ar găsi în număr infinit și cu străluciri diferite. Iată două probleme asupra cărora trebuie să facem cîteva precizări.

După o privire atentă și mai îndelungată, oricine se poate convinge cu ușurință că numărul de stele care se pot vedea cu ochiul liber nu este foarte mare. Un observator cu vedere bună poate număra vreo 3 000 de stele pe emisfera vizibilă (porțiunea cerească observabilă) iar dacă luăm în considerare și emisfera invizibilă, pe întreaga boltă cerească nu s-ar vedea cu ochiul liber mai mult de 6 000 stele.

Cu un binoclu obișnuit, se pot observa peste 60 000 stele, iar printr-un telescop modest, se văd peste 200 000 stele ș.a.m.d.

Referindu-ne la problema strălucirii stelelor, menționăm că legătura dintre stele și noi este realizată prin intermediul radiațiilor electromagnetice pe care le emit stelele și pe care le recepționează observatorul. De aceea, datele nemijlocite de observații sînt *strălucirile aparente*, care reprezintă cantitatea de energie (de lumină) ce cade în unitatea de timp, pe unitatea de suprafață receptoare orientată perpendicular pe direcția astrului. Dar valorile foarte mari ale strălucirilor stelare sînt incomode pentru calcule (Soarele la zenit are aproximativ 150 000 sb[1]), fapt pentru care, în locul lor, se folosesc *magnitudinile aparente (m)*, care reprezintă exprimarea într-o scală logaritmică a strălucirilor aparente.

Noțiunea de magnitudine stelară a apărut încă în antichitate, cînd cele mai strălucitoare stele au fost considerate de magnitudinea întîia (1^m), iar cele care, în condiții atmosferice bune, abia se văd cu ochiul liber erau de magnitudinea a 6-a (6^m). Intervalul de strălucire astfel definit a fost împărțit în 5 subintervale, fiecare dintre acestea fiind egal cu o magnitudine stelară.

Între magnitudinea aparentă, m, și strălucirea aparentă, I, în anul 1855 Pogson a stabilit următoarea relație

$$\log_{10}\left(\frac{I_m}{I_{m'}}\right) = -0{,}4(m-m') \qquad (1.1)$$

unde I_m și $I_{m'}$ reprezintă strălucirile aparente a doi aștri de magnitudini aparente m și m'.

Formula (1.1) permite să se lucreze și cu fracțiuni de magnitudine, cu magnitudini negative sau cu magnitudini mult mai mari, care corespund la stele mult mai slabe (vezi tabelul 1.2), magnitudinile aparente ale Soarelui și Lunii fiind $m_\odot = -26$ și respectiv $m_L = -16$.

Cu ochiul liber se pot observa stele pînă la magnitudinea 6, cu un binoclu obișnuit se văd stele pînă la magnitudinea 8, iar puterea de observare a unui telescop depinde de diametrul oglinzii principale, cele mai slabe stele observabile în prezent (1982) avînd magnitudinile cuprinse între 23 și 24.

[1] Un stilb = unitatea de măsură pentru strălucirea uniformă emisă de o suprafață plană de un centimetru pătrat în direcția normalei sale.

1.2. Orientarea pe bolta cerească [2], [3], [5], [7], [20], [35], [42]

Deoarece corpurile cerești sînt foarte îndepărtate, ele apar ca fiind situate toate la aceeași distanță și dau imaginea *aparentă* a unei bolți pe care se proiectează obiectele respective. Este vorba de *sfera cerească* al cărei centru este situat în ochiul observatorului, care pentru scopuri practice poate fi localizat în centrul Pămîntului (stelele se află la distanțe atît de mari, încît întregul sistem solar poate fi redus la un punct față de depărtarea lor).

a) *Sisteme de coordonate sferice.*

Privind cu atenție, constatăm că bolta cerească se prezintă cu aspect variabil. Stelele care erau la orizontul estic „se urcă" pe bolta cerească spre culminația superioară (înălțimea maximă deasupra orizontului) și apoi „trec " spre orizontul vestic, unde apun. Această mișcare este aparentă și reprezintă o consecință a mișcării de rotație a Pămîntului de la vest spre est.

Mișcarea aparentă a bolții cerești se numește *mișcare diurnă*, ea se efectuează în decurs de 24 ore, iar stelele descriu cercuri cu centrele situate pe dreapta care coincide cu axa de rotație a Pămîntului. Dintre aceste cercuri, cel care are centrul în centrul sferei cerești se numește *ecuator ceresc*, toate celelalte cercuri diurne fiind paralele cu ecuatorul, numindu-se *paralele diurne*. Ecuatorul este un cerc mare și determină un plan fundamental de referință. Se știe că un cerc mare rezultă din intersecția sferei cerești cu un plan care trece prin centrul ei.

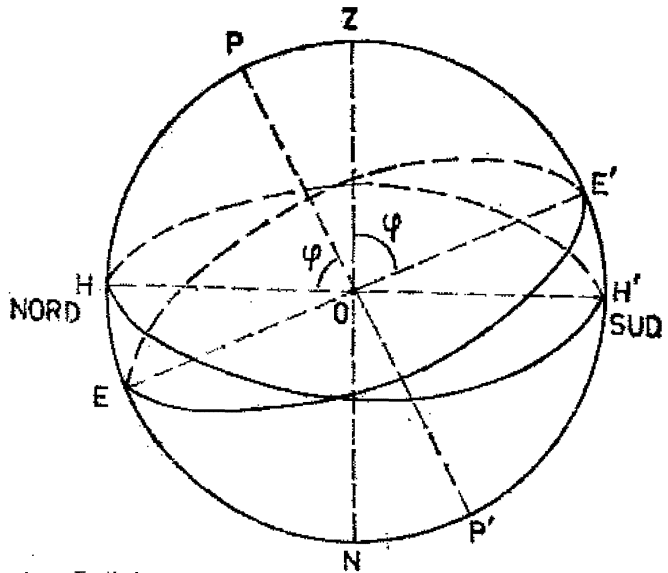
Dreapta care trece prin centrul sferei cerești și este perpendiculară pe ecuatorul ceresc — dreapta care conține axa de rotație a Pămîntului — intersectează sfera cerească în două puncte numite poli. Dintre acestea, polul din care un observator ar vedea sfera cerească rotindu-se în sensul în care se rotește un șurub cînd înaintează se numește *pol nord*, iar punctul opus este *polul sud*. Pe suprafața Pămîntului, acestor două puncte le corespund polii geografici — polul nord și polul sud.

Ecuatorul împarte sfera cerească în două emisfere, *emisfera boreală* cu polul nord și *emisfera australă* cu polul sud.

Dacă urmărim bolta cerească într-un interval mai mare de timp, cîteva luni de exemplu, constatăm că aspectul ei se schimbă de la un anotimp la altul. Această schimbare este cauzată de faptul că Pămîntul are o mișcare de revoluție în jurul Soarelui. Cu alte cuvinte, observatorul terestru vede Soarele „deplasîndu-se" printre stele, iar drumul aparent al Soarelui pe bolta cerească este un cerc mare care se numește *ecliptică*.

În *fig.* 1.1. este reprezentată sfera cerească, verticala locului determinînd cele două puncte: Z = zenitul, N = nadirul. Planul determinat de axa lumii (axa de rotație a Pămîntului), PP', și verticala locului, ZN, se numește *plan meridian* iar cercul mare determinat de acesta pe sfera cerească se numește *meridianul locului de observație*. Unghiul φ dintre axa polilor, PP', și orizont sau dintre verticala locului, ZN, și ecuator reprezintă *latitudinea locului* care are zenitul în Z, acest unghi fiind cuprins în planul meridianului.

Intersecția dintre planul meridianului și planul orizontului determină linia dreaptă HOH' care se numește *meridiană*; ea determină pe orizont punctele cardinale : *nord* în H și *sud* în H'



1.1. Definirea axei polilor, PP'; verticala locului, ZN; Orizontul, HH' ecuatorul, EE' și latitudinea, φ.

Orice plan care taie sfera cerească și conține verticala locului este un plan vertical. Pentru fiecare punct de pe suprafața Pămîntului se poate defini un plan vertical care va trece prin zenitul respectiv și punctele cardinale *est* și *vest*. Un astfel de plan se numește *planul primului vertical* al locului și este perpendicular pe planul meridian.

Orice plan paralel cu orizontul taie sfera cerească după un cerc mic numit *almucantarat*.

Orice plan care conține axa lumii, PP', determină un cerc mare pe sfera cerească, astfel de cercuri fiind cunoscute sub denumirea de *cercuri orare*. Dintre acestea, un anumit cerc orar poate fi selecționat prin specificarea a încă unui punct de pe firmament, de exemplu o stea. De aceea, meridianul unui loc de observație este și el un cerc orar care trece prin zenitul corespunzător. Prin fiecare punct de pe sfera cerească va trece un cerc orar, acest fapt fiind de mare importanță pentru probleme de orientare.

Trecerea corpurilor cerești (în mișcarea diurnă) prin meridianul locului de observație este marcată prin cele două culminații: culminația superioară, cînd astrul traversează meridianul la sud de polul P (arcul $PE'H'P'$) și culminația inferioară, cînd trecerea respectivă are loc la nord de P (arcul $PHEP'$), aceste situații fiind valabile peste un observator din emisfera boreală. Despre un astfel de observator va fi vorba în toată expunerea noastră.

În cadrul mișcării diurne, deosebim trei grupe de stele: unele rămîn tot timpul deasupra orizontului, acestea nu răsar și nu apun, de aceea se numesc stele *circumpolare nord*; altele răsar și apun; iar a treia categorie se găsesc tot timpul sub orizont și se numesc *stele circumpolare sud*.

Evident, pentru problemele de orientare pe bolta cerească am putea să definim încă o serie de noțiuni, dar pentru a nu complica prea mult expunerea, ne rezumăm la noțiunile introduse mai sus, ele fiind suficiente pentru primele probleme de orientare. Prin urmare, putem trece la introducerea cîtorva sisteme de coordonate sferice, fiecare sistem fiind caracterizat prin planul de referință, axa corespunzătoare și elementele determinate de acestea pe sfera cerească.

i) *Coordonate orizontale*: A = azimutul și h = înălțimea deasupra orizontului. În vederea definirii coordonatelor orizontale, am construit *fig.* 1.2 în care elementele de referință sînt planul orizontului *HOH'* și verticala locului *ZN*.

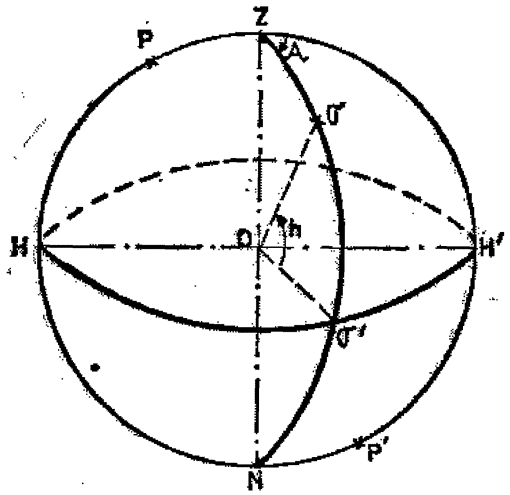
Se numește azimut, A, unghiul diedru dintre planul meridianului locului *(PZH'P')* și planul vertical al stelei *(Zσ σ' N)*; este cuprins între 0 (zero) și 360° și se măsoară în sensul de mișcare al acelor unui ceasornic văzut din polul nord.

Unghiul $\widehat{\sigma' 0 \sigma} = h$ se numește înălțimea deasupra orizontului și variază între 0(zero) și 90°.

Cele două mărimi A și h sînt coordonate *locale* deoarece sînt legate de poziția observatorului pe suprafața terestră și de momentul la care s-a efectuat determinarea lor. Variațiile lui A și h sînt cauzate de mișcarea diurnă.

Sistemul de coordonate orizontale este foarte important pentru orientarea practică pe bolta cerească, coordonatele respective putînd fi determinate prin metode diferite, în funcție de precizia necesară. Astfel, de exemplu, într-o primă aproximație, coordonatele orizontale ale Soarelui se pot determina cu ajutorul gnomonului — un băț înfipt vertical în suprafața Pămîntului.

Ca orice corp, bățul vertical — gnomonul — lasă o umbră orientată în sensul opus direcției spre Soare. În plus, umbrele



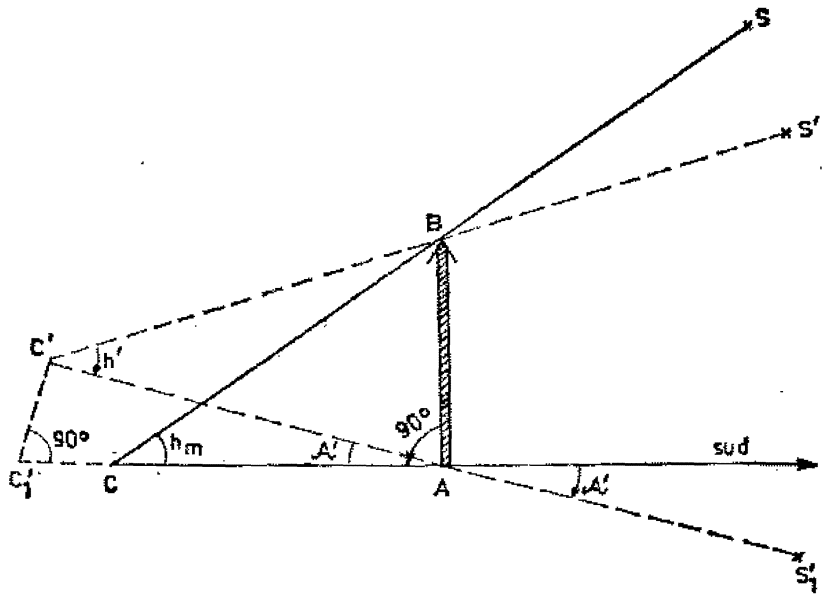
1.2. Definirea coordonatelor orizontale. A = azimutul, h = înălțimea astrului deasupra orizontului, PZH' = meridianul locului, Hσ H' = orizontul, ZN = verticala locului, Zσσ' = cercul vertical al stelei σ.

bățului au lungimi diferite la momente diferite, umbra cea mai scurtă corespunzînd momentului cînd Soarele se află la culminația superioară. Prin urmare, dacă vom marca cu AB lungimea bățului, AC lungimea umbrei celei mai scurte, din fig. 1.3, avem

$$tg\ h_m = \frac{AB}{AC} \qquad (1.2)$$

unde h_m este înălțimea Soarelui în meridian, la culminația superioară, AB și AC putînd fi măsurate pe teren. Umbra AC este conținută în dreapta care definește meridiana locului — direcția punctelor cardinale nord și sud.

În cazul cînd Soarele se află în S', undeva în afara meridianului, vîrful umbrei va fi în C' iar S'_1 va fi proiecția lui S' pe planul orizontului. Vîrful umbrei , C', vîrful bățului, B, și poziția Soarelui, S' determină linia de vizare care face unghiul h' față de orizont. Proiecția liniei de vizare pe planul orizontului determină direcția $C'AS'_1$ care definește unghiul



1.3. Determinarea coordonatelor orizontale cu ajutorul gnomonului.

A' (azimutul) față de meridiana locului. Într-o astfel de poziție unghiul h' este determinat de formula generală

$$tg\ h' = \frac{AB}{AC'} \tag{1.3}$$

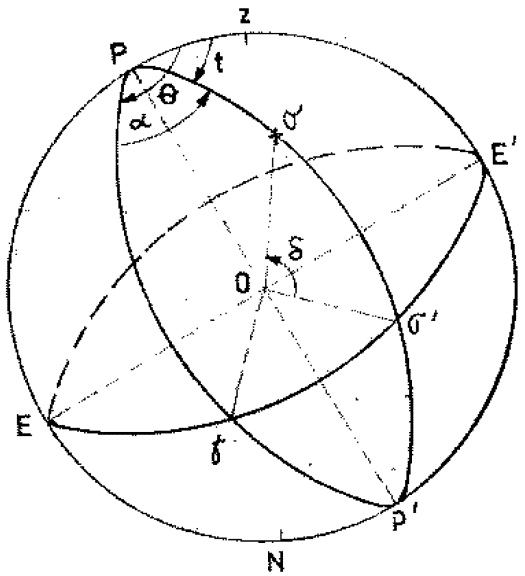
unde h' este înălțimea Soarelui deasupra orizontului când acesta se află în S'.

Pentru determinarea azimutului, A', măsurăm lungimea umbrei AC' și lungimea AC'_1 unde C'_1 este proiecția lui C' pe meridiană. Așadar,

$$tg\ A' = \frac{C'_1C'}{C'_1A} \tag{1.4}$$

Relațiile (1.3) și (1.4) ne permit să determinăm coordonatele orizontale din datele observaționale obținute cu ajutorul gnomonului.

ii) *Coordonate orare*: t = unghiul orar și δ = declinația, elementele de referință fiind ecuatorul, $E\sigma'E'$, și axa polilor, PP'. În fig. 1.4, unghiul diedru dintre planul meridianului *(POZ)* și planul cercului orar al stelei *($P\sigma\sigma'$)* se numește unghi orar ($0° \leqslant t \leqslant 360°$). El se măsoară în sensul de mișcare al acelor ceasornicului.



1.4. Definirea coordonatelor orare și a celor ecuatoriale.

Unghiul $\sigma'O\sigma = \delta$ se numește declinație și satisface inegalitățile $0° \leqslant \delta \leqslant 90°$ pentru aștrii din emisfera boreală și $-90° \leqslant \delta \leqslant 0°$ pentru emisfera australă.

După cum vedem, în sistemul de coordonate orare numai t este variabil, fapt pentru care avem de-a face cu un sistem semilocal.

În cazul când efectuăm observații în meridian, la culminația superioară, cunoscînd declinația Soarelui $\delta_\odot$ din fig. 1.5 avem

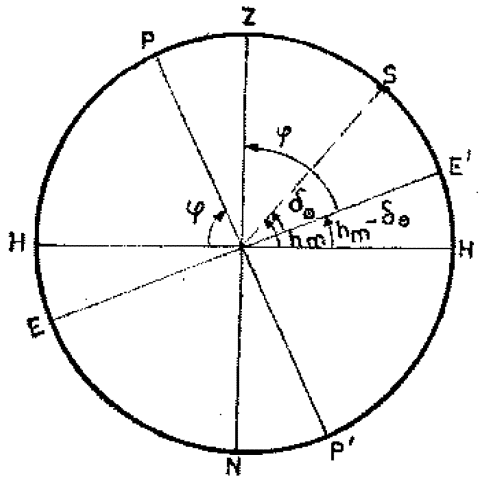
$$H'Z = H'E' + E'Z$$

$$90° = h_m - \delta_\odot + \varphi$$

$$\varphi = 90° - (h_m - \delta_\odot) \tag{1.5}$$

unde h_m se determină prin intermediul relației (1.2.). În acest mod, prin observații simple, cu ajutorul gnomonului putem determina latitudinea geografică, φ, a locului din care se efectuează observațiile. O operație de acest fel este foarte simplă, ea putînd fi efectuată în școală ca o aplicație practică la lecțiile de trigonometrie.

La marile observatoare, pentru determinarea precisă a coordonatelor orizontale și a latitudinii se utilizează instrumente optice de mare precizie, prezentarea acestora însă depășește scopul acestei cărți.



1.5. Observarea stelelor la culminația superioară.

iii) *Coordonate ecuatoriale*: α = ascensia dreaptă și δ = declinația. Pentru definirea acestui sistem de coordonate ne folosim de planul ecuatorului, axa polilor și poziția punctului vernal, γ, acesta din urmă fiind punctul de pe ecuator în care se află Soarele la echinocțiul de primăvară la intersecția ecuatorului cu planul eclipticii. Aici cercul $P\gamma P'$ se numește *cerc orar al punctului* vernal (vezi fig. 1.4).

Se numește ascensie dreaptă, α, unghiul diedru dintre planul cercului orar al punctului vernal și planul cercului orar al stelei considerate.

Spre deosebire de A și t, ascensia dreaptă se măsoară în sensul opus sensului de mișcare al acelor unui ceasornic văzut din polul nord și satisface inegalitățile $0° \leqslant \alpha \leqslant 360°$ sau $0^h \leqslant \alpha \leqslant 24^h$.

În sistemul de coordonate ecuatoriale declinația rămîne aceeași ca și în cazul sistemului de coordonate orare. Aici atît α cît și δ rămîn constante în timp și nu depind de poziția observatorului pe suprafața Pămîntului.

iv) Un alt sistem de coordonate este acela în care planul de referință este planul eclipticei, coordonatele respective fiind: l = longitudinea și b = latitudinea ecliptică. Acest sistem de coordonate este strîns legat de sistemul ecuatorial și are o mare importanță în probleme de mecanică cerească.

Așa cum am amintit mai sus, unghiul orar și ascensia dreaptă se exprimă în grade sexagesimale (unități de arc) sau ore (unități de timp). Corespondența dintre cele două sisteme de unități este bazată pe faptul că lungimea cercului este de 360° sau 24^h. De aici rezultă

1 oră = 15°,

1 minut de timp = 15 minute de arc,

1 secundă de timp = 15 secunde de arc.

1 grad (sexagesimal) = 4 minute de timp,

1 minut de arc = 4 secunde de timp,

1 secundă de arc = 1/15 secunde de timp.

Legătura dintre două sisteme de coordonate se face prin aplicarea formulelor din trigonometria sferică. Astfel, de exemplu, pentru trecerea de la coordonatele orare la cele

orizontale, aplicînd cele trei formule fundamentale (formulele lui Gauss), avem

$$\cos h \sin A = \cos\delta \sin t$$

$$\cos h \cos A = -\sin\delta \cos\varphi + \cos\delta \sin\varphi \cos t$$

$$\sin h = \sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos t$$

sau

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{tg} A &= \frac{\cos\delta \sin t}{-\sin\delta \cos\varphi + \cos\delta \sin\varphi \cos t} \\ \sin h &= \sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos t \end{aligned}\right\} \qquad (1.6)$$

Aplicație practică. Într-un loc cu latitudinea $\varphi = 46°45'$ se dau coordonatele orare: $t = 2^h = 30°$, $\delta = 25°45'$; se cer coordonatele orizontale. Aplicînd formulele (1.6) avem

$$\operatorname{tg} A = 1{,}665, \qquad A = 59°00'$$

$$\sin h = 0{,}8509 \qquad h = 58°20'$$

Pentru efectuarea calculelor în cadrul aplicațiilor practice ne putem folosi de tabele cu valorile naturale ale funcțiilor trigonometrice sau să utilizăm un minicalculator.

Pentru trecerea de la coordonatele orizontale la cele orare, utilizînd aceleași formule fundamentale din trigonometria sferică, putem scrie

$$\cos\delta \sin t = \cos h \sin A$$

$$\cos\delta \cos t = \sin h \cos\varphi + \cos h \sin\varphi \cos A$$

$$\sin\delta = \sin\varphi \sin h - \cos h \cos\varphi \cos A$$

sau

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{tg} t &= \frac{\cos h \sin A}{\sin h \cos\varphi + \cos h \sin\varphi \cos A} \\ \sin\delta &= \sin\varphi \sin h - \cos\varphi \cos h \cos A \end{aligned}\right\} \qquad (1.7)$$

Aplicație practică. Din observații se cunosc coordonatele orizontale ale unui satelit artificial: $A = 47°30'$, $h = 32°15'$

și se cer coordonatele orare. În acest scop, aplicînd formulele (1.7), avem

$$\operatorname{tg} t = 0{,}7976, \qquad t = 38^\circ 30' = 2^h 34^m$$
$$\sin \delta = 0{,}7802, \qquad \delta = 51^\circ 20'$$

În fig. 1.4., unghiul orar al punctului vernal, θ, reprezintă *timpul sideral* local care este definit prin suma dintre ascensia dreaptă, α, și unghiul orar, t, al astrului considerat:

$$\theta = \alpha + t \qquad (1.8)$$

Din formula (1.8) se vede că, atunci cînd o stea se găsește la culminația superioară, $t = 0$, timpul sideral local este egal cu ascensia dreaptă a stelei. Intervalul dintre două treceri succesive ale punctului vernal la meridianul locului (culminația superioară) definește o *zi sideral*ă care se exprimă în ore, minute și secunde siderale.

Observarea culminațiilor superioare ale mai multor stele ne permite să reglăm mecanismul unei pendule în așa fel încît aceasta să indice timpul sideral corect, adică indicațiile pendulei să arate orele, minutele și secundele care corespund ascensiilor drepte ale stelelor observate în meridian. Prin urmare, orice amator poate dispune de o pendulă sideral㠖 aceasta fiind deosebit de importantă pentru observarea anumitor fenomene astronomice care au loc în diferite epoci ale anului.

În cazul cînd ne referim la mișcarea aparentă a Soarelui, unghiul orar al acestuia definește timpul solar adevărat. Ziua solară adevărată este intervalul de timp dintre două treceri succesive ale Soarelui adevărat la meridianul locului (în culminația superioară).

Dar, după cum se știe, mișcarea aparentă a Soarelui este o consecință a mișcărilor de rotație și de revoluție ale Pămîntului, mișcarea de revoluție fiind mișcarea Pămîntului pe orbita sa în jurul Soarelui care se efectuează în conformitate cu legile lui Kepler:

I *Legea elipselor*. Orbita unei planete este o elipsă cu Soarele în unul din focare.

II *Legea ariilor*. Raza vectoare mătură arii egale în timpuri egale.

III *Legea armonică*. Pătratul perioadei orbitale a unei planete este proporțional cu cubul depărtării medii a acesteia de Soare,

$$\frac{a^3}{P^2} = \text{constant}.$$

Așadar, Pămîntul avînd o mișcare neuniformă pe orbita sa, mișcarea aparentă a Soarelui adevărat în planul eclipticii nu este potrivită pentru măsurarea timpului. De aceea, se introduce un „Soare mijlociu" fictiv, a cărui mișcare aparentă ar fi uniformă, mișcarea acestuia din urmă efectuîndu-se în planul ecuatorului pe un cerc care se intersectează cu ecliptica în punctele echinocțiale.

Intervalul de timp dintre două treceri succesive ale „Soarelui mijlociu" la meridianul locului se numește zi solară mijlocie. Pentru interes practic s-a convenit ca ziua solară mijlocie să înceapă „la miezul nopții" cînd activitatea socială este minimă. În acest scop, de la 1 ianuarie 1925, unghiul orar al „Soarelui mijlociu" se măsoară de la culminația inferioară.

Timpul mijlociu al Observatorului din Greenwich (Anglia) este cunoscut sub denumirea de *timp universal* (TU) și este utilizat pentru notarea momentelor la care au fost efectuate observațiile astronomice de importanță mondială. (În viața civilă timpul universal este notat GMT = Greenwich Mean Time).

Pentru scopuri practice, întreaga suprafață a Pămîntului a fost împărțită în 24 fuse orare ($1^h = 15^\circ$), fiecare dintre acestea avînd zona centrală situată pe un meridian care se află la un număr întreg de ore față de meridianul Greenwich. Toate fusele orare se intersectează în cei doi poli geografici: polul nord și polul sud.

Prin convenție în interiorul unui fus orar toate punctele de pe suprafața terestră au același timp mijlociu — timpul fusului — care, pentru fuse situate la est de Greenwich, este egal cu timpul universal plus numărul de ore corespunzătoare fusului considerat. În țara noastră, meridianul fusului nostru este situat la 2 ore est față de meridianul Greenwich, de aceea *timpul local mijlociu este egal cu timpul universal plus 2 ore*. Acesta este *timpul decretat* care se utilizează în toată țara în orarul de iarnă (septembrie – aprilie).

Pentru scopuri economice, însă, s-a convenit ca timpul decretat în România, în orarul de vară (aprilie—septembrie) să fie egal cu timpul universal plus 3 ore.

Între timpul mijlociu și cel sideral există legătura

1 zi siderală = 1 zi mijlocie — $3^m\,55^s,91$

fapt care conduce la următoarele relații de transformare:

1 secundă de timp sideral = 0,9972695 secunde mijlocii

1 secundă de timp mijlociu = 1,002737 secunde siderale

Pe baza acestor relații s-au întocmit tabele de trecere de la timpul mijlociu la cel sideral și invers, astfel de tabele fiind reproduse în anuarele astronomice.

Acum, după ce ne-am familiarizat cu noțiunea de timp sideral, putem să ne ocupăm de trecerea de la coordonatele orare la cele ecuatoriale și invers.

Așa cum am mai amintit, declinația este aceeași în cadrul celor două sisteme de coordonate iar pentru trecerea de la unghiul orar, t, la ascensia dreaptă, α, utilizăm relația (1.8) astfel că

$$\alpha = \theta - t, \qquad \alpha \geqslant 0 \qquad (1.8a)$$

Aici avem însă nevoie de timpul sideral, θ, pe care-l putem citi la pendula siderală atunci cînd efectuăm observațiile. Dar dacă nu putem utiliza pendula siderală iar momentul observației este notat la un ceas (pendulă) de timp mijlociu, prin calcule simple trebuie să efectuăm trecerea de la timpul mijlociu la cel sideral. Această problemă o examinăm pe un exemplu „concret".

Să considerăm că satelitul artificial, despre care a fost vorba mai sus, a fost observat la 23^h30^m timp mijlociu din seara zilei de 1 martie 1981, cînd au fost determinate coordonatele orizontale: $A = 47°30'$ și $h = 32°15'$, cărora, așa, cum am văzut mai înainte, le corespund coordonatele orare: $t = 38°30' = 2^h34^m$ și $\delta = 51°20'$. Ne interesează acum coordonatele ecuatoriale ale opoziției respective. În acest scop, pentru a utiliza relația (1.8a) avem nevoie de θ pe care-l vom deduce din timpul mijlociu al observației. Pentru aceasta, din momentul înregistrat scădem 2 ore pentru a avea timpul universal, TU, adică $TU = 23^h30^m - 2^h = 21^h30^m$. Acest interval de timp mijlociu îl exprimăm în timp sideral prin adăugarea corecției de $+3^m32^s$ pe care o luăm dintr-o tabelă de trecere de la timpul mijlociu la cel sideral. În felul acesta, pentru timpul scurs de la miezul nopții din 1 martie 1981 și pînă la momentul observației avem $21^h33^m32^s$ (unități de timp sideral). Dar pentru a avea timpul sideral, θ, al observației, trebuie ca la timpul de mai sus să adăugăm timpul sideral la miezul nopții timp universal, care de asemenea se găsește în anuarele astronomice. Pentru 1 martie 1981 din Anuarul astronomic editat de către Centrul de Astronomie și Științe Spațiale (CASS), avem $\theta_0 = 10^h34^m50^s,5$, ceea ce înseamnă că timpul sideral al meridianului Greenwich va fi $21^h33^m32^s + 10^h34^m50^s,5 = 32^h08^m22^s,5 - 24^h = 8^h08^m22^s,5$

Pentru a avea timpul sideral al locului de observație, θ, mai trebuie să adăugăm longitudinea geografică corespunzătoare, λ. În cazul observatorului cu $\lambda = 1^h23^m46^s$ vom avea $\theta = 8^h08^m22^s,5 + 1^h23^m46^s = 9^h32^m08^s,5$.

Acum putem aplica formula (1.8a) astfel că

$$\alpha = 9^h32^m08^s,5 - 2^h34^m = 6^h58^m08^s,5,$$

ceea ce ne-a condus la coordonatele ecuatoriale:

$$\alpha = 6^h58^m08^s,5$$

$$\delta = +51°20'$$

Observație. Mai sus a fost utilizată noțiunea de longitudine geografică pe care o definim ca unghiul diedru dintre planul meridianului locului de observație și planul meridianului Greenwich; aceasta se poate cunoaște de pe o hartă geografică sau să fie determinată prin observații astronomice.

Din fig. 1.2 se vede că atunci cînd un astru se află la orizont, cînd el apune sau răsare, înălțimea lui deasupra orizontului este nulă. Totuși, din cauza prezenței atmosferei terestre și a refracției produse de aceasta, cînd Soarele apune sau răsare, nu are loc o trecere bruscă de la lumină la întuneric sau invers. Intervalul de timp dintre momentul cînd astrul a ajuns la 6° sub orizont și momentul apusului Soarelui se numește *crepuscul civil;* intervalul de timp dintre momentul cînd Soarele a ajuns la 18° sub orizont și momentul apusului se numește *crepuscul astronomic.* Crepusculul civil se termină atunci cînd la lumina zilei nu se mai poate citi

ziarul, iar crepusculul astronomic se sfîrşeşte atunci cînd este destul de întuneric pentru a putea observa şi stelele slabe pe bolta cerească.

b) *Constelaţiile şi identificarea lor*

Din observarea bolţii cereşti se constată că, deşi aceasta îşi schimbă aspectul ca urmare a mişcării diurne, între ele, stelele păstrează poziţii relativ stabile. Se constată că stelele de o anumită strălucire ar putea fi unite cu nişte linii imaginare, contururile astfel schiţate putînd fi asemănate cu anumite obiecte sau vieţuitoare. Este vorba de o grupare convenţională a stelelor în constelaţii al căror aspect se păstrează constant într-un interval mare de timp. Denumirile constelaţiilor sînt cunoscute din timpuri străvechi şi au fost împrumutate de la obiectele sau vieţuitoarele cu care se aseamănă: Ursa Mare (Carul Mare), Ursa Mică (Carul Mic), Leul, Taurul etc. De altfel, denumirile constelaţiilor s-au păstrat în limba latină, traducerile lor în limba română le dăm pentru o mai uşoară intuire a configuraţiei respective.

La Adunarea Generală a Uniunii Astronomice Internaţionale, în anul 1925, s-a stabilit ca întreaga boltă cerească să fie împărţită în 88 constelaţii. Lista acestora se găseşte în tabelul 1.1 unde alături de cazurile nominativ şi genitiv

TABELUL 1.1. Constelaţiile

Denumirea în limba latină	Cazul genitiv	Prescurtarea	Denumirea în limba română
Andromeda	Andromedae	And	Andromeda
Antlia	Antliae	Ant	Maşina Pneumatică
Apus	Apodis	Aps	Pasărea Cerului
Aquarius	Aquarii	Aqr	Vărsătorul
Aquila	Aquilae	Aql	Vulturul
Ara	Arae	Ara	Altarul
Aries	Arietis	Ari	Berbecul
Auriga	Aurigae	Aur	Vizitiul
Bootes	Bootis	Boo	Boarul
Caelum	Caeli	Cae	Dalta
Camelopardalis	Camelopardalis	Cam	Girafa
Cancer	Cancri	Cnc	Racul
Canes Venatici	Canum Venaticorum	CVn	Ciinii de Vînătoare
Canis Major	Canis Majoris	CMa	Cîinele Mare

TABELUL 1.1. Constelaţiile (Continuare)

Denumirea în limba latină	Cazul genitiv	Prescurtarea	Denumirea în limba română
Canis Minor	Canis Minoris	CMi	Cîinele Mic
Capricornus	Capricorni	Cap	Capricornul
Carina	Carinae	Car	Carena
Cassiopeia	Cassiopeiae	Cas	Cassiopeia
Centaurus	Centauri	Cen	Centaurul
Cepheus	Cephei	Cep	Cefeu
Cetus	Ceti	Cet	Balena
Chamaeleon	Chamaeleontis	Cha	Cameleonul
Circinus	Circini	Cir	Compasul
Columba	Columbae	Col	Porumbelul
Coma Berenices	Comae Berenices	Com	Cosiţa Berenicei
Corona Australis	Coronae Australis	CrA	Coroana Australă
Corona Borealis	Coronae Borealis	CrB	Coroana Boreală
Corvus	Corvi	Crv	Corbul
Crater	Crateris	Crt	Cupa
Crux	Crucis	Cru	Crucea
Cygnus	Cygni	Cyg	Lebăda
Delphinus	Delphini	Del	Delfinul
Dorado	Doradus	Dor	Peştele de Aur
Draco	Draconis	Dra	Dragonul
Equuleus	Equulei	Equ	Calul Mic
Eridanus	Eridani	Eri	Eridanul
Fornax	Fornacis	For	Cuptorul
Gemini	Geminorum	Gem	Gemenii
Grus	Gruis	Gru	Cocorul
Hercules	Herculis	Her	Hercule
Horologium	Horologii	Hor	Orologiul
Hydra	Hydrae	Hya	Hidra (Boreală)
Hydrus	Hydri	Hyi	Hidra Australă
Indus	Indi	Ind	Indianul
Lacerta	Lacertae	Lac	Şopîrla
Leo	Leonis	Leo	Leul
Leo Minor	Leonis Minoris	LMi	Leul Mic
Lepus	Leporis	Lep	Iepurele
Libra	Librae	Lib	Balanţa
Lupus	Lupi	Lup	Lupul
Lynx	Lyncis	Lyn	Rîsul; Lynxul
Lyra	Lyrae	Lyr	Lira
Mensa	Mensae	Men	Masa; Platoul
Microscopium	Microscopii	Mic	Microscopul
Monoceros	Monocerotis	Mon	Unicornul; Licornul
Musca	Muscae	Mus	Musca
Norma	Normae	Nor	Norma; Echerul
Octans	Octantis	Oct	Octantul
Ophiuchus	Ophiuchi	Oph	Ofiucus; Purtătorul de şerpi

TABELUL 1.1. Constelațiile (Continuare)

Denumirea în limba latină	Cazul genitiv	Prescurtarea	Denumirea în limba română
Orion	Orionis	Ori	Orion
Pavo	Pavonis	Pav	Păunul
Pegasus	Pegasi	Peg	Pegas
Perseus	Persei	Per	Perseu
Phoenix	Phoenicis	Phe	Phoenix
Pictor	Pictoris	Pic	Șevaletul; Pictorul
Pisces	Piscium	Psc	Peștii
Piscis Austrinus	Piscis Austrini	PsA	Peștele Austral
Puppis	Puppis	Pup	Pupa
Pyxis	Pyxidis	Pyx	Busola
Reticulum	Reticuli	Ret	Reticulul
Sagitta	Sagittae	Sge	Săgeata
Sagittarius	Sagittarii	Sgr	Săgetătorul
Scorpius	Scorpii	Sco	Scorpionul
Sculptor	Sculptoris	Scl	Sculptorul
Scutum	Scuti	Sct	Scutul (lui Sobieski)
Serpens	Serpentis	Ser	Șarpele
Sextans	Sextantis	Sex	Sextantul
Taurus	Tauri	Tau	Taurul
Telescopium	Telescopii	Tel	Telescopul
Triangulum	Trianguli	Tri	Triunghiul
Triangulum Australe	Trianguli Australis	TrA	Triunghiul Austral
Tucana	Tucanae	Tuc	Tucanul
Ursa Major	Ursae Majoris	UMa	Ursa Mare; Carul Mare
Ursa Minor	Ursae Minoris	UMi	Ursa Mică; Carul Mic
Vela	Velorum	Vel	Velele
Virgo	Virginis	Vir	Fecioara
Volans	Volantis	Vol	Peștele Zburător
Vulpecula	Vulpeculae	Vul	Vulpea

mai găsim scrierea prescurtată și traducerea lor în limba română.

În problemele de orientare pe bolta cerească, constelațiile joacă un rol deosebit de important, cu ajutorul lor putînd fi localizate anumite fenomene sau pozițiile aparente ale corpurilor cerești. Astfel, de exemplu, dacă se observă căderea unui bolid luminos și se specifică constelația în care a avut loc fenomenul respectiv, chiar dacă nu s-au putut determina coordonatele corespunzătoare, specificarea constelației este suficientă pentru o primă informare. Iată de ce, pentru astronomii amatori cunoașterea constelațiilor este foarte utilă, fapt pentru care dăm aici cîteva indicații ca punct de plecare în cunoașterea lor.

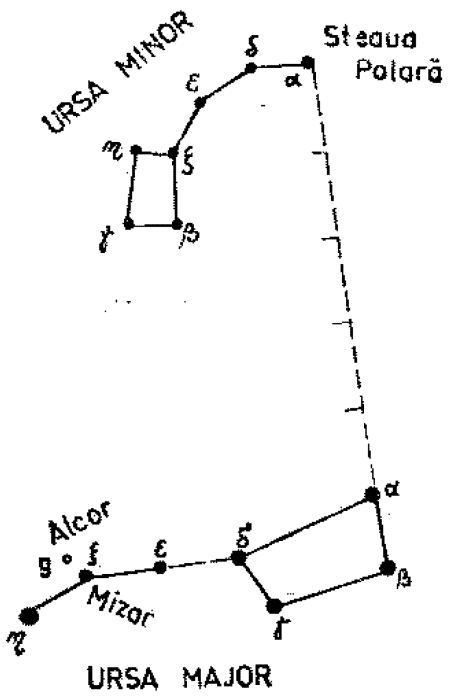
Așa cum am specificat și mai sus, într-o noapte senină și fără Lună bolta cerească ni se înfățișează în toată splendoarea sa. Noi, cei din emisfera boreală, încă din fragedă copilărie ne-am obișnuit să observăm și să admirăm o frumoasă grupare de șapte stele luminoase situate undeva în partea de nord a firmamentului. Este vorba de cele șapte stele strălucitoare care alcătuiesc constelația Carul Mare sau Ursa Mare sau, folosind denumirea în limba latină, Ursa Major. Această constelație este vizibilă în tot timpul anului, este ușor de găsit și poate fi utilizată ca punct de plecare pentru identificarea celorlalte constelații din emisfera boreală.

Dacă în gruparea de stele care reprezintă Carul Mare se iau în considerare și alte stele mai puțin strălucitoare, imaginea grupării respective se aseamănă cu aceea a unui urs. De aici denumirea de Ursa Mare, epitetul *Mare* fiind utilizat pentru a face distincție între aceasta și o altă grupare asemănătoare pentru care se utilizează epitetul *Mic*. Va fi vorba de Carul Mic — Ursa Mică sau Ursa Minor.

În literatura astronomică se utilizează denumirea constelațiilor în limba latină, fapt pentru care și noi, în cele ce urmează, vom folosi aceeași terminologie.

În fig. 1.6 sînt reprezentate constelațiile Ursa Major și Ursa Minor, stelele acestora fiind notate cu literele alfabetului grec, în ordinea descreșterii strălucirii lor. Astfel, steaua cea mai luminoasă din Ursa Major este notată cu α și, utilizînd genitivul din limba latină, spunem steaua α Ursae Majoris (= steaua α din Ursa Major). Apoi urmează, în ordinea descreșterii strălucirii, steaua β Ursae Majoris, γ Ursae Majoris etc. După epuizarea tuturor literelor alfabetului grec, pentru celelalte stele, se folosesc literele alfabetului latin, iar dacă nici acestea nu sînt suficiente, mai departe se utilizează cifrele arabe. Acest mod de notare a stelelor este cunoscut din anul 1603 cînd a fost introdus de către astronomul amator Johann Bayer, un magistrat din Augsburg.

În antichitate, celor mai strălucitoare stele li se acordau și nume proprii. Astfel steaua ζ Ursae Majoris este denumită

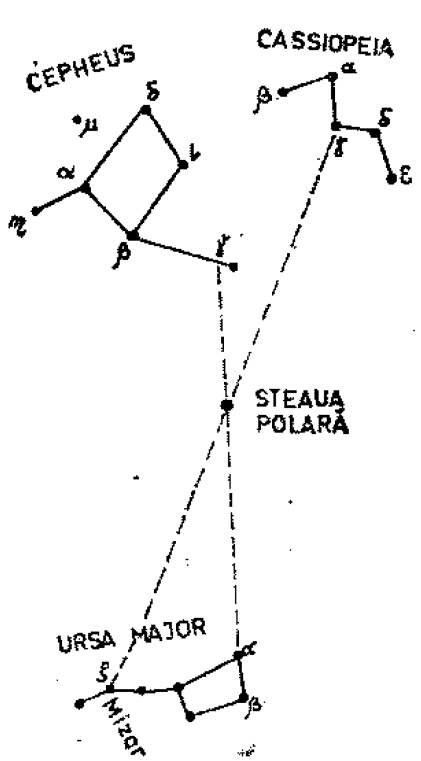


1.6. Constelațiile Ursa Major și Ursa Minor.

Mizar, iar alături de ea se află steaua *Alcor* (g Ursae Majoris). Această pereche de stele ne dau aspectul unei stele duble; este vorba de o stea dublă aparentă. Privită prin telescop, steaua Mizar apare și ea dublă, dar de data aceasta este vorba de o stea dublă fizic, componentele respective influențîndu-se reciproc.

Așa cum se vede pe fig. 1.6, dacă prin stelele α și β Ursae Majoris ducem o linie dreaptă de-a lungul căreia se măsoară de 5 ori distanța $\overline{\alpha\beta}$ în sensul $\beta \rightarrow \alpha$, găsim o stea luminoasă, de magnitudinea 2, care este steaua α Ursae Minoris și este situată foarte aproape de polul nord ceresc, fapt pentru care aceasta se numește *stea polară nord*.

În fig. 1.7 este indicat modul de trecere de la Ursa Major la constelațiile Cepheus și Cassiopeia. Între Ursa Major și Ursa Minor se găsește constelația Draco (Dragonul), aspectul acesteia fiind reprezentat în fig. 1.8. Tot acolo sînt desenate și constelațiile: Hercules, Lyra și Cygnus (Lebăda), identi-



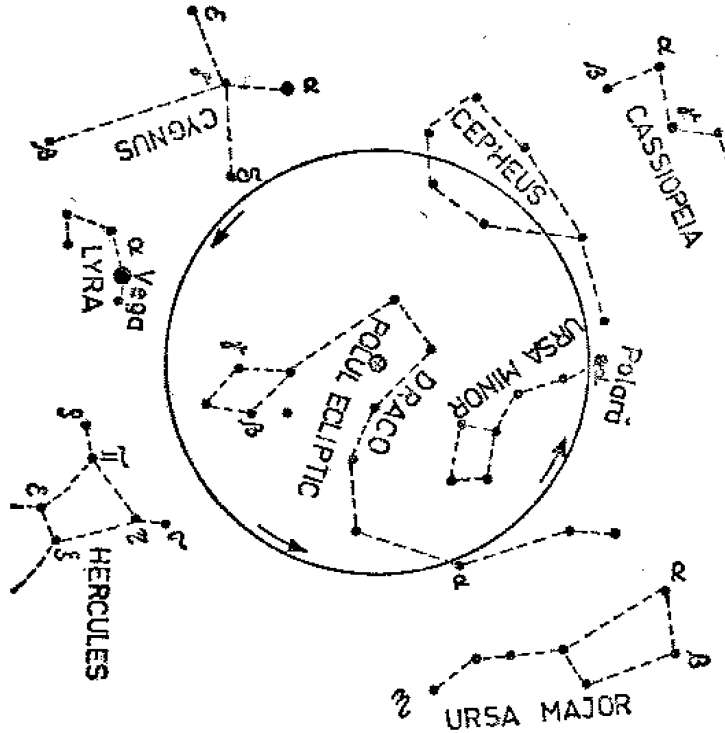
1.7. Constelațiile Ursa Major, Cepheus și Cassiopeia.

ficarea altor constelații putînd fi urmărită pe desenele din fig. 1.9–1.12.

Cu ajutorul indicațiilor prezentate mai sus, avînd la îndemînă o hartă a bolții cerești sau un atlas stelar, putem trece la recunoașterea tuturor constelațiilor vizibile din România. Apoi, dacă este necesar, se poate trece la identificarea constelațiilor din emisfera australă.

Pe bolta cerească, zona delimitată de 8° de o parte și alta a eclipticii conține 12 constelații zodiacale: Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo, Libra, Scorpius, Sagittarius, Capricornus, Aquarius și Pisces. Aceste constelații au fost numite astfel cu secole în urmă și au delimitat cele 12 regiuni prin care trecea Soarele în timpul celor 12 luni ale anului.

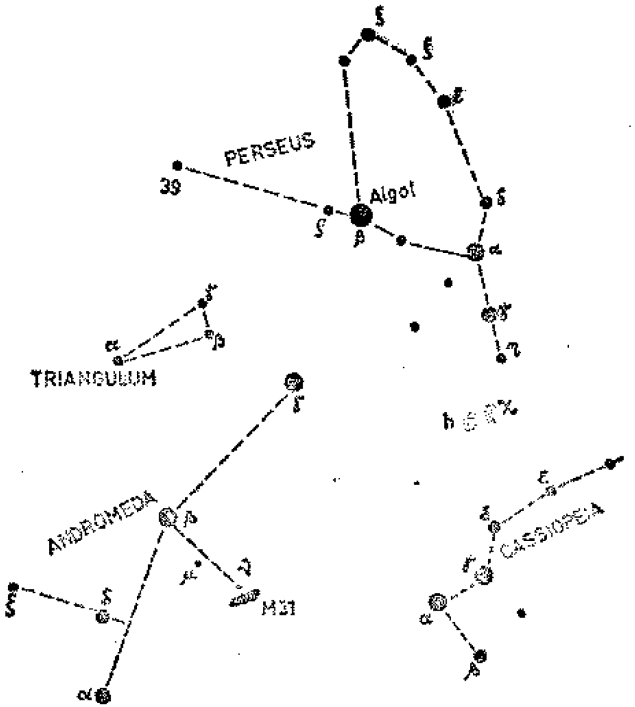
Lista celor mai strălucitoare stele vizibile din România este dată în tabelul 1.2.



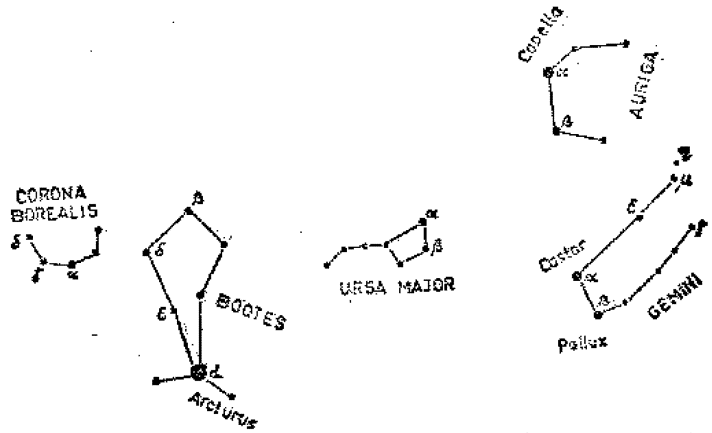
1.8. Constelațiile din vecinătatea polului nord, cercul reprezintă traiectoria aparentă a polului nord printre stele.

c) *Cataloage stelare, hărți și atlase cerești. Anuare astronomice.*

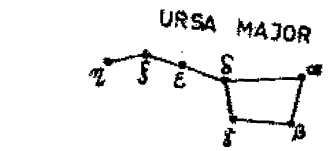
Dacă pentru fiecare stea de pe bolta cerească, pînă la o anumită magnitudine, dispunem de coordonatele ecuatoriale (α = ascensia dreaptă și δ = declinația) stelele respective pot fi înregistrate în cataloage de evidență — cataloage stelare. În acest scop, în prima coloană se trece numărul de ordine, în coloana a 2-a se scriu ascensiile în ordinea crescătoare a valorilor lor, iar în coloanele 3 și 4 se trec declinația și respectiv magnitudinea. Iată de ce, atunci cînd dorim să ne referim la o anumită stea este suficient să specificăm denumirea catalogului și numărul de ordine. Astfel, de exemplu, steaua β din constelația Perseus (β Persei), cunoscută și sub denumirea de Algol, are numărul 673 din zona $+40°$

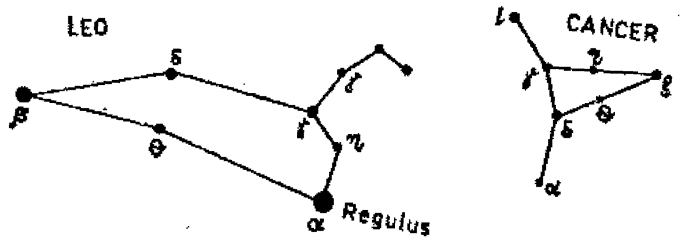


1.9. Constelațiile Perseus, Cassiopeia, Triunghiul și Andromeda.

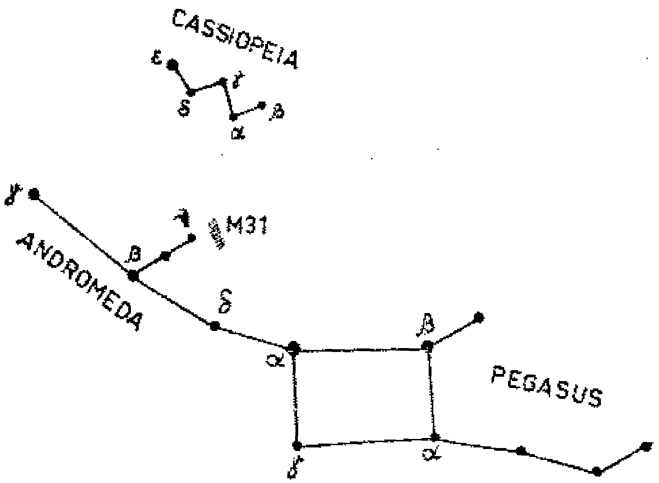


1.10. Constelațiile Ursa Major, Bootes, Corona Borealis, Gemini și Auriga.





1.11. Constelațiile Ursa Major, Cancer și Leo.



1.12. Constelațiile Cassiopeia, Andromeda și Pegasus.

a catalogului *Bonner Durchmusterung*. Prin urmare, steaua Algol mai poate fi întîlnită și sub notația *BD + 40°673*.

Primul catalog stelar, întocmit de cel mai mare astronom al antichității, Hipark (c. 190—125 î.e.n.), era bazat pe observații vizuale și conținea 1 026 stele, pe cînd cel al lui Hevelius, elaborat cu 18 secole mai tîrziu, conținea 1 553 stele. În anul 1725 este publicat catalogul astronomului englez

TABELUL 1.2.

Lista celor mai strălucitoare stele vizibile din România

Steaua	Numele propriu	Magnitudinea	Coordonatele ecuatoriale α_{1950} δ_{1950}	Spectrul	Culoarea	Distanța în ani lumină
α Canis Majoris	Sirius	—1,58	06h44m—16°41'	A0	albă	8,7
α Lyrae	Vega	+ 0,14	18h36m+38°40'	A0	albă	26,5
α Aurigae	Capella	0,21	05h15m+45°59'	G0	galbenă	44,7
α Bootis	Arcturus	0,24	14h15m+19°17'	K0	portocalie	36,2
β Orionis	Rigel	0,34	05h14m—08°13'	B8	albastră	535,6
α Canis Minoris	Procyon	0,48	07h38m+05°16'	F5	galbuie	10,5
α Aquilae	Altair	0,80	19h50m+08°49'	A5	albă	16,6
α Orionis	Betelgeuse	0,1 — 1,2	05h54m+07°24'	M2	roșie	304,6
α Tauri	Aldebaran	0,06	04h35m—16°28'	K5	portocalie	67,9
β Geminorum	Pollux	1,21	07h44m—28°04'	K0	„	35,1
α Virginis	Spica	1,21	13h24m—11°03'	B2	albastră	171,6
α Scorpii	Antares	1,22	16h28m—26°23'	M1	roșie	172
α Piscis Austrini	Fomalhaut	1,29	22h57m—29°43'	A3	albă	22,6
α Cygni	Deneb	1,33	20h41m+45°13'	A2	albă	399
α Leonis	Regulus	1,34	10h07m+12°08'	B8	albastră	83,6
ε Ursae Majoris	Alioth	1,68	12h53m—56°03'	A0	albă	?
γ Orionis	Bellatrix	1,70	05h24m+06°20'	B2	albastră	125,4
β Tauri	Nath	1,78	05h25m+28°36'	B8	„	171,6
α Persei	Mirfak	1,80	03h23m+49°48'	F5	galbuie	?
η Ursae Majoris	Alkaid	1,91	13h17m+49°24'	B3	albastră	113,4
α Ursae Majoris	Dubhe	1,95	11h03m+61°54'	K0	portocalie	105,2
α Geminorum	Castor	1,99—2,85	07h33m+31°56'	A0	albă	49,4

J. Flamsteed (1646—1719) care conținea 2 934 stele, acest fiind întocmit cu ajutorul unei lunete mici folosită pentru rezolvarea unor probleme de navigație. Catalogul astronomului german F.W.A. Argelander (1799—1875) a fost publicat în anul 1862 și conținea 324 000 stele pînă la magnitudinea 9,5, pentru întocmirea acestuia fiind utilizată o lunetă cu diametrul obiectivului de numai 10 cm. În faimosul Catalog fotografic *Carte du Ciel*, elaborat în colaborare internațională înainte și după cel de al doilea război mondial, se găsesc înregistrate circa trei milioane de stele pînă la magnitudinea $m = 11$.

Se pare că în ordinea strălucirii avem:

12 stele pînă la	$m=1,0$,	22 800 stele pînă la	$m=8,0$
40	2,0,	1 097 000	12,0
2 938	6,0,	889 200 000	21,0

Avînd în vedere faptul că planul de referință al sistemului de coordonate ecuatoriale este supus precesiei[1] și influenței altor fenomene „perturbatoare", la întocmirea unui catalog stelar se alege o anumită poziție de referință — o anumită epocă la care sînt raportate coordonatele respective. De aceea, în tabelele cu pozițiile unor corpuri cerești adesea se specifică și epoca la care este raportat planul de referință. În acest scop, în capul coloanelor corespunzătoare ascensiei și declinației se scrie și anul de referință. Astfel α_{1980} și δ_{1980} reprezintă coordonatele ecuatoriale raportate la începutul anului 1980.

Dacă avem de-a face cu coordonate raportate la epoci diferite, trebuie să efectuăm reducerea la o singură epocă, dar o operație de acest fel depășește scopul urmărit de noi în această carte. Totuși, amintim că, în limitele preciziei cu care lucrează un astronom amator, diferențele de coordonate pentru intervale de timp de cîțiva ani nu sînt semnificative. O analiză detaliată a epocilor cataloagelor stelare este întreprinsă de astrometriști și duce la rezultate deosebit de importante. Pentru probleme de orientare pe bolta cerească și identificarea anumitor obiecte cosmice, epoca unui

[1] Precesia = retrogradarea punctelor echinocțiale de-a lungul eclipticii, datorată perturbațiilor Soarelui și Lunii asupra ecuatorului terestru.

catalog devine semnificativă atunci cînd este vorba de intervale mari de timp.

Reprezentarea grafică a declinației în funcție de ascensie, de exemplu, permite ca un catalog stelar să fie transformat în hărți cerești sau atlase stelare, existența acestora fiind de mare folos pentru o serie de probleme în care intervine orientarea pe bolta cerească. Hărțile cerești sau atlasele stelare, deși cu o precizie mai mică, oferă un mijloc rapid pentru identificarea unor poziții în care s-au desfășurat anumite fenomene astronomice.

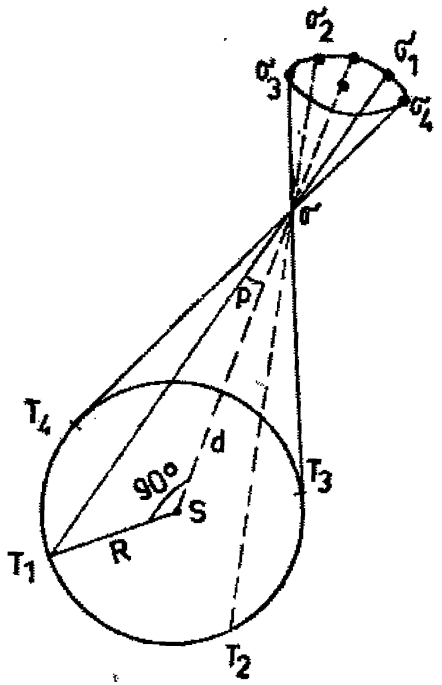
În cazul cînd într-o publicație oarecare sînt înregistrate sub formă de tabele fenomenele astronomice care urmează a se desfășura în cursul unui an, avem de-a face cu un *anuar astronomic*. Și în acest caz, munca astronomului amator este mult ușurată atît prin datele care-i sînt puse la dispoziție, cît și prin indicațiile cu privire la modul de utilizare a datelor respective. La noi, un astfel de anuar este editat de către Centrul de Astronomie și Științe Spațiale — CASS.

1.3 Luminozitatea stelelor [5], [20], [23], [35], [37], [41]

Așa cum am specificat mai înainte, stelele se deosebesc între ele prin gradul de strălucire, dar, după cum se știe, strălucirea unei surse luminoase depinde atît de proprietățile fizice corespunzătoare, cît și de depărtarea la care se găsește ea față de observator. De aceea, trebuie să considerăm aici faptul că distanțele la care se găsesc stelele față de noi au o mare importanță, mai ales atunci cînd vrem să întreprindem analiza unor parametri fizici ai stelelor: energia emisă, caracteristici spectrale, structuri fizice etc.

a) *Depărtarea stelelor*

Pentru determinarea distanțelor stelare, cu ajutorul fig. 1.13 se introduce noțiunea de paralaxă: ***se numește paralaxă stelară anuală unghiul sub care un observator situat pe steaua respectivă ar vedea raza orbitei terestre atunci cînd linia Soare—stea este perpendiculară pe direcția Soare—Pămînt.***



1.13. Definirea paralaxelor stelare.

Între depărtarea unei stele, d, și paralaxa corespunzătoare exprimată în secunde de arc, p'', din fig. 1.13, se poate scrie relația

$$\frac{R}{d} = \operatorname{tg} p'' \simeq p \text{ radiani}$$

unde am avut în vedere faptul că pentru unghiuri mici atît tangenta, cît și sinusul se pot aproxima prin arcele corespunzătoare exprimate în radiani. Prin urmare, dacă $R = 1$ unitate astronomică, putem scrie

$$d = \frac{1 \text{ u.a}}{p''} 206\,265 \qquad (1.9)$$

unde d este depărtarea stelei exprimată în unități astronomice, factorul 206 265 fiind introdus pentru transformarea radianilor în secunde de arc.

Pentru exprimarea depărtărilor enorme la care se află unele corpuri cerești unitatea astronomică devine incomodă. De aceea, pentru exprimarea distanțelor cerești a fost introdus **parsecul** *(pc)* care este distanța pînă la un punct a cărui paralaxă este egală cu o secundă de arc (1″). Prin urmare,

$$d = \frac{1}{p''} \text{ (parseci)}, \qquad (1.10)$$

iar din comparația cu relația (1.9) rezultă 1 pc = 206 265 u.a = $3{,}086 \cdot 10^{13}$ km (1 u.a = o unitate astronomică pentru distanțe). Multiplii parsecului sînt kiloparsecul *(kpc)* = 1 000 parseci și megaparsecul *(Mpc)* care conține un milion de parseci.

Cea mai semnificativă unitate pentru distanțe este ***anul lumină*** (a.l.), aceasta fiind distanța pe care lumina (c, viteza de 300 000 km/s) o parcurge în cursul unui an.

Deoarece lumina parcurge un parsec în 3,26 ani din relația 1.10 rezultă

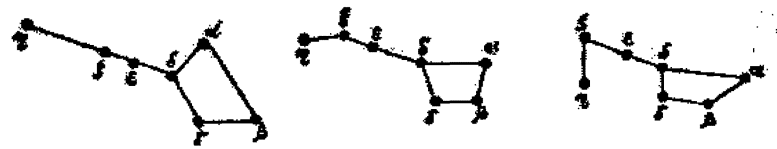
$$d = \frac{3{,}26}{p''} \text{ ani lumină} \qquad (1.11)$$

Revenind la constelația Ursa Major, amintim faptul că primele patru stele α, β, γ și δ se găsesc la distanțe cuprinse între 50 și 100 ani lumină, pe cînd celelalte trei ε, ζ și η se află la aproximativ 250 ani lumină.

Determinarea paralaxelor stelare a început în anul 1838 cînd F.W. Bessel (1784–1846) a măsurat paralaxa stelei *61 Cygni*.

După Soare, steaua cea mai apropiată de noi este α Centauri care se află la o distanță de aproximativ 4 ani lumină. Se cunosc obiecte cosmice situate la distanțe de ordinul miilor de ani lumină.

Avînd în vedere faptul că stelele se găsesc la depărtări foarte mari, mișcările lor spațiale se detectează cu multă greutate, de aceea ele par a se proiecta mereu în aceleași puncte ale bolții cerești. Dar, cu toată imensitatea distanțelor stelare, observațiile de mare precizie pun în evidență mișcările proprii, mișcări care cu timpul duc chiar la modificarea aspectului constelațiilor. Un astfel de exemplu este dat în fig. 1.14 unde se pun în evidență modificările constela-



1.14. Modificarea aspectului constelației Ursa Major.

ției Ursa Major, aici fiind vorba de modificarea seculară a aspectului bolții cerești.

b) *Magnitudini absolute*

După ce ne-am convins de faptul că stelele se găsesc la depărtări diferite față de observatorul terestru, înțelegem mai bine cauzele care fac ca ele să apară cu străluciri diferite. Magnitudinile aparente introduse pentru caracterizarea gradului de strălucire al stelelor nu ne oferă prea multe informații cu privire la natura fizică a corpurilor cerești. De aceea, pentru a ușura compararea proprietăților fizice ale stelelor s-a introdus așa-numita *magnitudine absolută, M, care este egală cu magnitudinea aparentă a aceleiași stele dacă ea s-ar găsi la distanța de 10 parseci.*

Între magnitudinea aparentă, m, magnitudinea absolută, M, și paralaxa, p, există relația

$$M = m + 5 + 5 \log p'' = m + 5 - 5 \log d, \qquad (1.12)$$

unde p este exprimat în secunde de arc, iar d este distanța în parseci.

Din observații se determină magnitudinea aparentă și paralaxa, iar formula (1.12) ne conduce la magnitudinea absolută prin intermediul căreia se determină luminozitatea.

Se numește luminozitate, L, cantitatea de energie emisă de o stea în unitatea de timp.

Între luminozitate și magnitudinea absolută există relația

$$\log_{10} \frac{L}{L_\odot} = -0{,}4(M - M_\odot) \qquad (1.13)$$

unde, semnul $\odot$ este simbolul Soarelui ($L_\odot = 3{,}86 \cdot 10^{26}$ J/s, $M_\odot = +4{,}71$), (J = joule = unitate de măsură pentru energie).

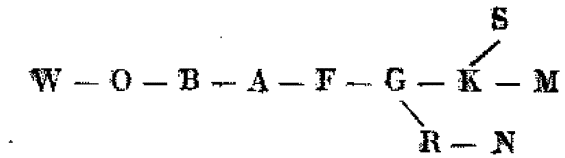
Având în vedere faptul că magnitudinile aparente se determină pe cale observațională, vom avea atâtea feluri de magnitudini câte feluri de receptoare utilizăm. Astfel, observațiile vizuale (organul receptor este ochiul) vor conduce la magnitudini vizuale, m_v și M_v; observațiile fotografice (receptorul este o placă fotografică) conduc la *magnitudini fotografice*, m_{pg} și M_{pg}.

În cazul observațiilor fotoelectrice, în fața fotomultiplicatorului, care este receptorul de energie, se utilizează filtre optice (plăci de sticlă colorată) care delimitează domeniul spectral al radiațiilor recepționate. Astfel, pentru sistemul U, B, V se folosesc filtrele: ultraviolet (U), albastru (B) și galben (V), acesta din urmă definind un domeniu spectral foarte apropiat de cel vizual.

Diferența dintre magnitudinile obținute în diferite domenii spectrale (culori) se numește *indice fotometric* sau *indice de culoare*. Astfel, mărimile U—B și B—V reprezintă indici de culoare ai sistemului fotometric standard.

c) *Clasificarea spectrală. Diagrama H—R.*

Dacă fasciculul de radiații care vine de la o stea trece printr-o prismă optică (vezi fig. 2.10) sau o rețea de difracție, se obține spectrul stelei care este cercetat prin metodele analizei spectrale. După modul cum sînt distribuite anumite caracteristici spectrale, stelele sînt grupate în clase spectrale, caracteristicile respective modificîndu-se treptat de la o clasă la alta. Astfel, stelele au fost grupate în 11 clase spectrale — tipuri spectrale — notate cu litere majuscule, trecerea de la o clasă la alta fiind determinată de prezența anumitor linii spectrale și de temperatura stelei. Dăm aici succesiunea „arbitrară" a claselor spectrale după clasificarea elaborată la Observatorul Harvard (S.U.A.):



Spectrele a două clase vecine se deosebesc considerabil, de aceea s-a recurs la o clasificare mult mai fină, aceasta din urmă realizîndu-se prin introducerea subclaselor spectrale. Fiecare clasă conține 10 subclase notate cu cifrele: 0, 1, 2, ..., 9

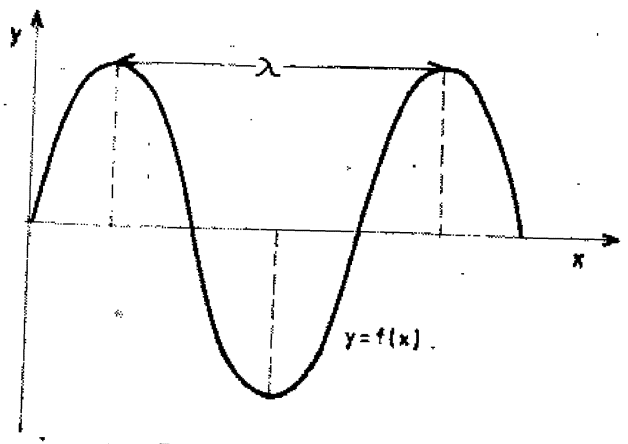
Capitolul 2

ASTRONOMUL AMATOR CONSTRUCTOR ŞI BENEFICIAR AL INSTRUMENTELOR ASTRONOMICE

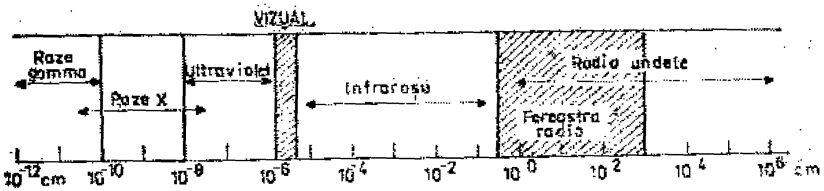
Aşa cum am mai amintit, legătura dintre observatorul terestru şi corpurile cereşti este realizată prin intermediul radiaţiilor electromagnetice, acestea din urmă fiind înregistrate vizual sau prin intermediul altor receptoare: plăci fotografice, celule fotoelectrice, receptoare de unde radio etc. De aceea, cunoştinţele noastre despre un obiect cosmic vor fi cu atît mai bogate, cu cît mai sensibile vor fi receptoarele utilizate.

Din fizică se ştie că radiaţiile pot fi reprezentate prin unde transversale care emană de la sursele de lumină. Ele se deplasează cu viteza de 300 000 km/s şi transportă o anumită cantitate de energie. În plus, lumina poate fi caracterizată prin lungimile de undă ale radiaţiilor componente, sensul geometric al unei lungimi de undă fiind schiţat în fig. 2.1.

În fig. 2.2 este prezentată, schematic, distribuţia lungimilor de undă în spectrul electromagnetic. De aici se vede că



2.1. Definirea lungimilor de undă.



2.2. Distribuţia lungimilor de undă în spectrul electromagnetic.

domeniul vizual (optic), adică domeniul spectral în care se află radiaţiile pe care le recepţionăm cu aparatele optice amplasate pe suprafaţa terestră, este foarte îngust. Acest domeniu este delimitat de lungimile de undă care satisfac inegalităţile: $4\,000 \leqslant \lambda \leqslant 7\,000$ Å, unde 1Å (= un angström) conţine 10^{-8} centimetri.

Atmosfera terestră are două ferestre prin care radiaţiile de la corpurile cereşti pot pătrunde pînă la suprafaţa Pămîntului: fereastra optică şi fereastra radio. Celelalte domenii spectrale (vezi fig. 2.2) au devenit utilizabile după ce receptoare corespunzătoare au fost lansate dincolo de păturile dense ale atmosferei. Astăzi se poate înregistra întreg spectrul electromagnetic, astronomul amator fiind interesat în cunoaşterea rezultatelor respective.

Pînă nu de mult, observaţiile astronomice se efectuau cu instrumente optice, în acest caz fiind vorba de *astronomia vizibilului*. După inventarea receptoarelor pentru radiaţiile radio — radiotelescoapele — şi după lansarea unor observatoare pe orbite circumterestre au intrat în funcţiune şi aparatele pentru *astronomia invizibilului*.

2.1 Instrumente optice [2], [8], [13], [22], [24], [28], [29], [38].

Pentru recepţionarea energiei emisă în domeniul vizibil se utilizează instrumente de construcţii diferite, elementele de bază ale acestora putînd fi grupate în două categorii: i) optice (lentile, oglinzi, prisme etc) şi ii) mecanice (suporturi, tuburi, cercuri, gradate, dispozitive pentru mişcare de orologerie etc.). Un astronom amator trebuie să cunoască aceste componente, să fie în stare să le construiască sau să

le procure, să știe să le întrețină și să le utilizeze cu randament maxim.

a) *Construirea lunetei (refractorul)*

i) *Componentele optice* principale ale lunetelor sînt lentilele, iar razele de lumină care trec prin ele sînt supuse refracției.

O lentilă este formată dintr-o substanță transparentă (sticlă sau material plastic) mărginită de două suprafețe sferice, dreapta care unește centrele sferelor respective fiind numită *axă optică*.

Definiția de mai sus rămîne valabilă și atunci cînd spunem că axa optică trece prin punctul central al suprafeței lentilei și este perpendiculară la tangenta dusă prin acest punct; definiția din urmă fiind potrivită și pentru lentilele plan-convexe.

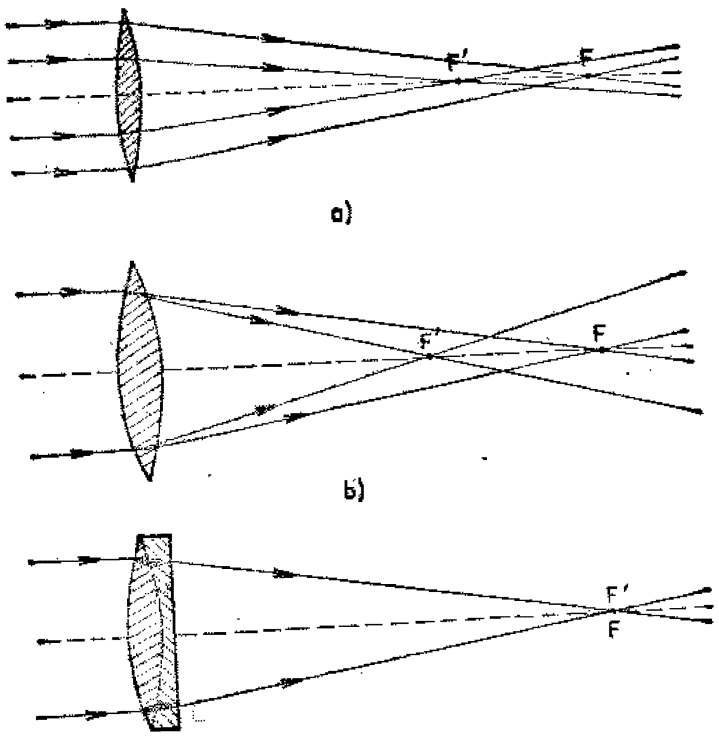
Deoarece corpurile cerești sînt situate la depărtări foarte mari, putem considera că radiațiile care vin spre observator sînt paralele între ele. O lentilă biconvexă transformă fasciculul de raze paralele în unul convergent, drumul radiațiilor fiind indicat în fig. 2.3. Dacă fasciculul incident este paralel cu axa optică, după trecerea prin lentilă, va converge într-un punct situat pe axa optică, acest punct se numește *focar*. Depărtarea, măsurată de-a lungul axei optice, de la centrul obiectivului și pînă la focar se numește *distanță focală*.

În legătură cu trecerea razelor de lumină prin lentile se pot face următoarele remarci:

— Razele care trec prin partea centrală a lentilei sînt mai puțin refractate decît razele care trec prin apropierea periferiei, acest fapt determinînd pe axa optică puncte diferite de convergență — *focare diferite* — cauză pentru care imaginea obiectului observat apare puțin încețoșată. Acest fenomen este cunoscut sub denumirea de *aberație de sfericitate* (vezi fig. 2.3 a).

— Radiațiile de diferite lungimi de undă suferă refracții diferite. Din acest motiv imaginea obiectului respectiv apare tot încețoșată, dar cu culori diferite, fenomenul acesta fiind cunoscut sub denumirea de *aberație cromatică* (vezi fig. 2.3 b).

Pentru înlăturarea neajunsurilor amintite mai sus, la construcția obiectivelor pentru lunete astronomice se utili-



2.3. Mersul razelor de lumină printr-o lentilă biconvexă: a) aberația de sfericitate, b) aberația cromatică, c) obiectiv alcătuit din două lentile în care este eliminată aberația acromatică.

zează sisteme de cîte 2—4 lentile care au axele optice suprapuse. În fig. 2.3c am prezentat mersul razelor de lumină printr-un sistem de două lentile: lentila propriu-zisă este din *crown* (sticlă ușoară), iar lentila corectoare este din *flint* (sticlă grea).

Cele două aberații sînt doar două din cauzele pentru care *lentilele simple* (lentilele de ochelari) *nu sînt potrivite pentru instrumente astronomice*.

Menționăm aici că, în studiile sale de optică, Newton ajunsese la convingerea că inelele colorate date de lentile nu s-ar putea corecta. Din acest motiv, pentru scopuri astronomice, el a recomandat înlocuirea lentilelor prin oglinzi

concave, devenind astfel autorul telescopului care-i poartă numele (telescopul Newton), pe care-l construiește în anul 1668. Abia mult mai tîrziu s-a dovedit, practic, că influența inelelor colorate ale unei lentile se poate înlătura prin confecționarea lentilelor corectoare din altă substanță decît aceea din care era confecționată lentila propriu-zisă.

O lunetă astronomică se compune din două sisteme de lentile. Sistemul de dimensiuni mai mari constituie *obiectivul* lunetei, acesta fiind piesa de bază a instrumentului respectiv. Diametrul lui poate fi cuprins între cîțiva centimetri și cîțiva decimetri, pe cînd distanța focală poate să fie de 10—20 de ori mai mare decît diametrul. Aceste caracteristici rămîn constante pentru un anumit obiectiv.

Diametrul obiectivului este diametrul cercului care-l delimitează, pentru astronomii amatori fiind accesibile obiective cu diametrele între 10 și 15 cm. Luneta cu cel mai mare obiectiv, diametrul de 102 cm, funcționează în bune condiții din anul 1897, la Observatorul Yerkes, lîngă Chicago (S.U.A.)

Cel de al doilea sistem optic, alcătuit din lentile mult mai mici, se numește *ocular*.

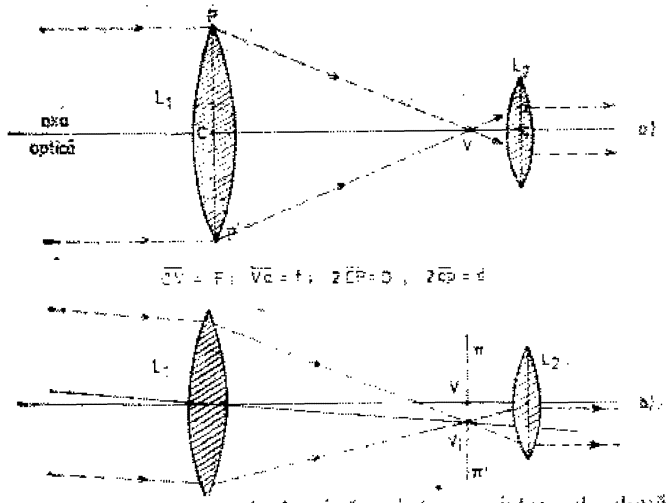
Obiectivul are scopul de a aduna fluxul luminos radiat de obiectul cercetat, pe cînd ocularul mărește imaginea dată de obiectiv și o proiectează în ochiul observatorului. Axele optice și focarele celor două sisteme optice — obiectiv și ocular — trebuie să coincidă, drumul razelor de lumină prin lunetă este indicat în fig. 2.4.

În fig. 2.4 a este prezentat drumul razelor de lumină care vin paralele cu axa optică. În cazul cînd steaua observată se găsește într-o direcție diferită de aceea a axei optice, după refracția prin obiectiv ele se întîlnesc în punctul V care nu se găsește pe axa optică — vezi figura 2.4 b. Totalitatea punctelor V_i determină un *plan focal* (π,π') care este perpendicular pe axa optică.

După forma și numărul lentilelor componente distingem următoarele tipuri de oculare:

— Cel mai vechi ocular este acela descris de *Keplar*, el are o singură lentilă plan-convexă, suprafața plană fiind situată spre ochiul observatorului,

— ocularul de tip *Ramsden* este alcătuit din două lentile plan-convexe, suprafețele sferice ale lentilelor componente fiind situate spre interiorul tubului de susținere (fig. 2.5 a).



2.4. Mersul razelor de lumină printr-un sistem de două lentile biconvexe. L_1 — obiectivul cu distanța focală F. L_2 — ocularul cu distanța focală f. Cx — direcția axei optice.

— ocularul de tip *Huygens* este alcătuit tot din două lentile plan-convexe, suprafețele sferice ale acestora fiind orientate în același sens (fig. 2.5. b).

— ocularul de tip *Kellner* se aseamănă cu ocularul Ramsden, dar aici lentila dinspre ochiul observatorului este o piesă dublă, este vorba deci de un ocular alcătuit din trei lentile (fig. 2.5 c).

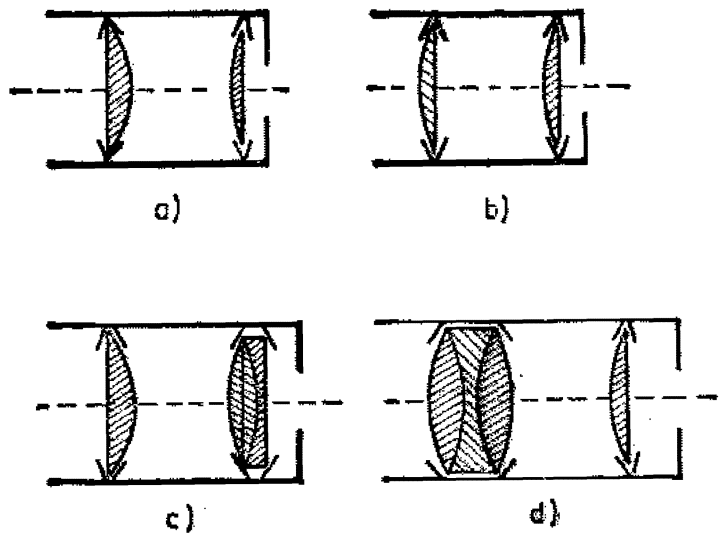
— ocularul *ortoscopic* este alcătuit din patru lentile (fig. 2.5 d).

În funcție de dimensiunile componentelor optice, luneta astronomică poate fi caracterizată printr-o serie de parametri, dintre care amintim aici cîțiva:

— *Deschiderea relativă* sau puterea luminoasă, A, a unui obiectiv este definită prin raportul dintre diametrul D și distanța focală, F,

$$A = \frac{D}{F} \qquad (2.1)$$

Cu cît A este mai mare, cu atît imaginile observate prin obiectivul respectiv vor fi mai luminoase și cu atît luneta



2.3. Tipuri de oculare: a) ocularul de tip Ramsden, b) ocularul de tip Huygens, c) ocularul de tip Kellner și d) ocularul ortoscopic.

va fi mai potrivită pentru observarea corpurilor cu luminozitate slabă, cum ar fi nebuloasele și cometele.

— *Grosismentul*, sau puterea de mărire a unei lunete, este caracterizat prin raportul dintre mărimea unghiulară a imaginii văzută prin ocular și cea văzută cu ochiul liber, acesta putînd fi aproximat prin raportul dintre distanța focală, F, a obiectivului și cea a ocularului, f, adică

$$G = \frac{F}{f} \tag{2.2}$$

Deoarece la același obiectiv putem utiliza oculare cu distanțe focale diferite, grosismentul este o mărime variabilă, bineînțeles și aici existînd anumite limite impuse atît de calitatea sistemelor optice, cît și de condițiile atmosferice în care se efectuează observațiile. Astfel, dacă la un obiectiv cu distanța focală $F = 1$ m utilizăm oculare cu distanțele focale de 7, 10, 20 și 30 mm, grosismentele corespunzătoare vor fi 143, 100, 50 și respectiv 33.

— *Diametrul cercului ocular* este definit prin mărimea imaginei obiectivului văzută prin ocular și este egal cu diametrul maxim al fasciculului de raze paralele care (plecînd) ies din ocular. Această mărime notată cu $d = 2\overline{cp}$ în figura 2.4. a, se determină imediat din asemănarea triunghiurilor VCP și Vcp,

$$\frac{D}{d} = \frac{F}{f}; \quad d = \frac{f}{F} D$$

sau,

$$d = \frac{D}{G} \tag{2.3}$$

unde G este definit prin (2.2).

În cazul obiectivului cu $D = 10$ cm, $F = 1$ m, și un ocular cu $f = 10$ mm, se poate scrie

$$d = \frac{100}{\frac{1\,000}{10}} = 1 \text{ mm}.$$

De aici rezultă concluzia foarte importantă că, în timpul observației, ochiul trebuie să ocupe o astfel de poziție, încît în pupilă să intre întreg fluxul luminos care iese din ocular. La început, această poziție se determină prin încercări, dar, cu timpul, observatorul se obișnuiește și poziția ochiului nu mai constituie o problemă.

— *Puterea de pătrundere* se definește prin magnitudinea limită care se mai poate detecta cu luneta în condiții bune de vizibilitate, dar la un obiect situat undeva în vecinătatea zenitului.

Dacă diametrul, D, este exprimat în centimetri, considerații simple asupra formulei (1.1) arată că puterea de pătrundere se poate defini prin relația

$$m_{\text{limită}} = 7{,}1 + 5 \log D \tag{2.4}$$

— *Puterea de separare* (de rezolvare) se definește prin puterea de a vedea separat (distinct) imaginile a două obiecte apropiate, care pentru ochiul liber se „contopesc" și apar

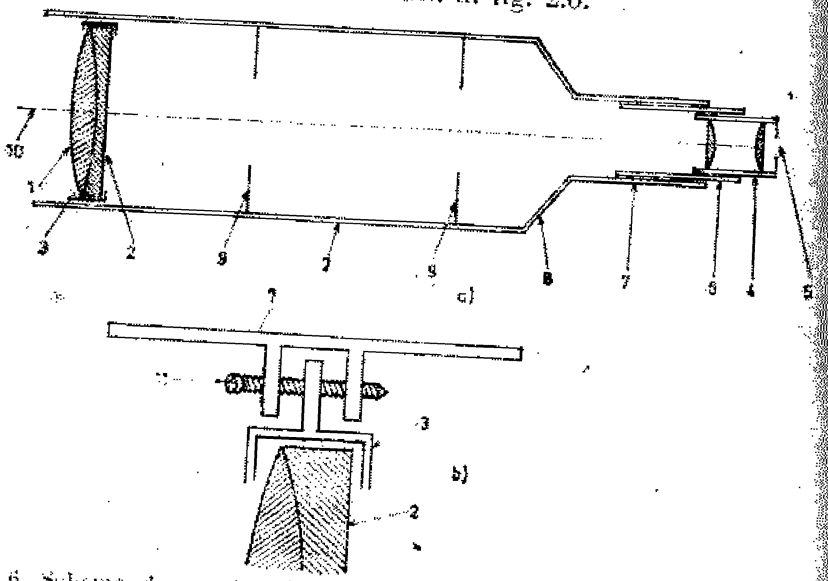
ca un singur obiect. Această putere de separare σ, se exprimă prin relația

$$\sigma'' = 1{,}15 \frac{\lambda(\text{cm})}{D(\text{cm})} \cdot 206\,265 = \frac{11''2}{D} \qquad (2.5)$$

unde D este diametrul obiectivului exprimat în centimetri, iar σ se exprimă în secunde de arc ($\lambda \approx 5\,000$ Å).

ii) *Partea mecanică* a lunetei constă, în primul rînd, din *tubul* în care sînt fixate obiectivul și ocularul, acesta trebuind să fie destul de rezistent pentru evitarea *flexiunilor*. În interior, tubul este vopsit în negru mat și se diafragmează, din loc în loc, pentru a împiedica razele parazite să ajungă la ocular. Tot în acest scop, tubul lunetei se prelungește puțin în partea opusă a ocularului, dincolo de obiectiv.

Lentilele obiectivului se fixează într-o ramă metalică, iar cele ale ocularului sînt prinse în tuburi metalice. Structura tubului lunetei este arătată în fig. 2.6.



2.6. Schema de construcție a unei lunete: 1 = lentila bicenvexă a obiectivului, 2 = lentila de corecție, 3 = ramă de susținere a obiectivului, 4 = ocular de tip Ramsden, 5 = diafragma ocularului prin care se privește, 6 = tubul de susținere al ocularului necesar la reglarea focarelor, 7 = tubul lunetei care susține obiectivul și ocularul, 8 = pilonii prin intermediul cărora se trece de la diametrul mare al tubului la partea mai subțire, 9 = diafragme pentru eliminarea luminii parazite, 10 = axa optică, 11 = șurub pentru reglarea obiectivului.

A doua componentă a părții mecanice a unei lunete este reprezentată prin montura sau dispozitivul de susținere, aceasta fiind legătura dintre tubul lunetei și postament.

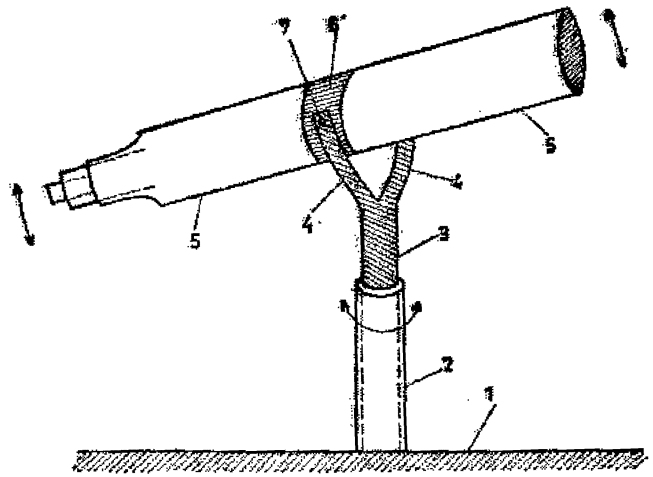
Cînd am vorbit despre mișcarea diurnă a bolții cerești am văzut că stelele „se mișcă" de la est spre vest și, în același timp, se ridică deasupra orizontului pînă la culminația superioară. Din această cauză, montura unei lunete trebuie să fie astfel construită încît efectul mișcării diurne să se elimine cu cît mai multă ușurință. Prin urmare, tubul lunetei trebuie montat pe un dispozitiv care să asigure sistemului optic o mișcare în jurul a două axe. Un astfel de dispozitiv poate fi construit în diferite moduri, dintre acestea vom considera aici numai montura orizontală și cea ecuatorială, acestea fiind ușor de construit și utilizat de către astronomii amatori.

Montura orizontală este dispozitivul care asigură lunetei o mișcare paralelă cu orizontul și altă într-un plan vertical. Cel mai simplu dispozitiv de acest fel poate fi realizat din două țevi: una fixată vertical iar a doua mobilă, fiind introdusă în prima. Prin rotația celei de a doua țevi se realizează mișcarea paralelă cu planul orizontului.

La partea superioară țeava mai subțire este despicată în două, formîndu-se astfel un fel de „furcă" cu două brațe în care se fac două găuri paralele cu orizontul. În aceste găuri intră știfturi care realizează o axă orizontală, ele fixează luneta de un brîu de susținere, în jurul acestora efectuîndu-se mișcarea verticală a lunetei. În acest fel, luneta poate urmări un astru care se mișcă aparent de la est spre vest și se ridică sau coboară în raport cu planul orizontului. Schematic, o asemenea montură este prezentată în fig. 2.7, este vorba de montura orizontală sau azimutală, mișcarea orizontală fiind o mișcare în azimut.

Ca un inconvenient al montării orizontale menționăm faptul că, pentru urmărirea mișcării diurne, lunetei trebuie să-i imprimăm două mișcări. La lunetele mari astfel de mișcări pot fi comandate prin impulsuri transmise de computere care funcționează după un program special.

În cazul unor lunete mai modeste, inconvenientul amintit mai sus se evită prin aceea că „sistemul de țevi" care asigură montura lunetei este astfel construit încît axa comună a țevilor să fie înclinată cu unghiul φ (latitudinea locului) față de orizont. O montură de acest fel — montură ecua-



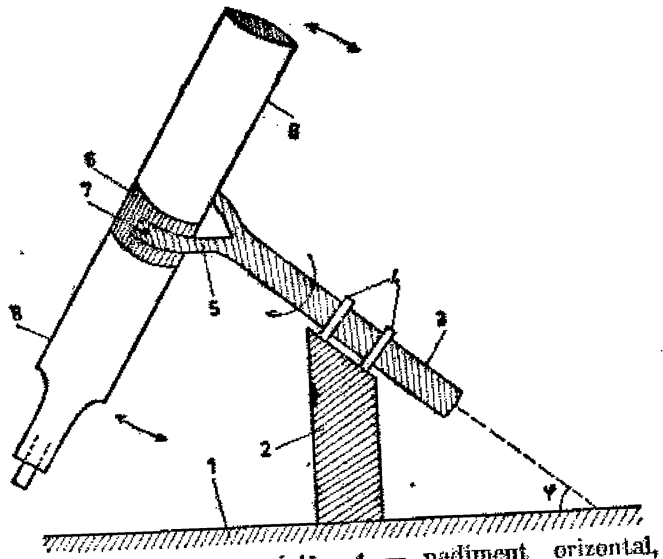
2.7. Montură orizontală: 1=padiment orizontal, 2=țeavă verticală fixă, 3 = țeavă verticală mobilă, 4 = brațele furcii de susținere, 5 = tubul lunetei, 6 = briu (manșon) în care sînt fixate extremitățile axei orizontale, 7=extremitățile axei orizontale.

torială — este prezentată în fig. 2.8, de unde se vede că axa verticală a devenit paralelă cu axa lumii (axa polilor cerești). Ea poartă numele de *axă orară*, în jurul acesteia fiind descrise unghiurile orare. Aici axa orizontală a devenit *axă de declinație*, în jurul ei măsurîndu-se declinațiile aștrilor.

Prin intermediul montării ecuatoriale, o dată fixată imaginea în centrul cîmpului vizual (cîmpul ocularului) mișcarea în declinație se blochează și rămîne liberă numai mișcarea în jurul axei orare. Prin urmare, imprimînd axei orare o mișcare de rotație cu viteză egală și de același sens ca și a mișcării diurne, imaginea respectivă poate fi menținută în centrul cîmpului vizual pentru un timp îndelungat, fapt care ușurează foarte mult efectuarea observațiilor.

Avînd în vedere condițiile determinate de construcția montării ecuatoriale, mișcarea lunetei într-un plan paralel cu ecuatorul se poate asigura prin intermediul unui motor electric, viteza acestuia fiind reglată de o pendulă de timp sideral. Întregul dispozitiv care asigură această mișcare se numește dispozitiv de orologerie.

Dacă pe axele determinate de punctele (7) din fig. 2.7 și 2.8 montăm cercuri gradate de-a lungul lor se măsoară înăl-



2.8. Montura ecuatorială: 1 = padiment orizontal, 2 = pilastru vertical, cu secțiunea superioară paralelă cu axa lumii, 3 = axa mobilă paralelă cu axa lumii — axa orară, 4 = inele de susținere a axei orare, 5 = furca de susținere, 6 = inelul care fixează luneta, 7 = axă de mișcare a lunetei în declinație, 8 = tubul lunetei.

țimea deasupra orizontului la montura orizontală (fig. 2.7) și declinația la montura ecuatorială. Dacă pe axa (3) se instalează cercuri gradate, ele vor servi la citirea azimutelor și respectiv a unghiurilor orare. Prin urmare, lunetele cu monturi orizontale se orientează cu ușurință spre o stea cămetru orientarea lunetelor cu monturi ecuatoriale avem nevoie de coordonatele ecuatoriale sau orare.

În urma celor prezentate mai sus, ajungem la concluzia că de la metoda vizuală de observare a aștrilor la metoda fotografică nu-i decît un pas. În acest scop se demontează ocularul, iar în locul lui se fixează un aparat fotografic de la care s-a scos obiectivul. Aparatul fotografic trebuie să fie astfel plasat încît filmul sau placa fotografică să se găsească în planul focal al obiectivului lunetei. Montura ecuatorială, prin mișcarea sa de orologerie, face posibil ca imaginile obiectelor cosmice să se proiecteze în aceleași puncte ale clișeului într-un interval mai mare de timp, de ordinul minutelor sau

chiar al orelor. Așa se pot efectua expuneri lungi, fapt care permite ca să fie înregistrate obiecte mult mai puțin strălucitoare decît acele care se pot observa vizual prin același obiectiv.

Puterea de pătrundere a unei lunete fotografice depinde atît de diametrul obiectivului, cît și de timpul de expunere. O valoare aproximativă a magnitudinii limită care se mai poate înregistra pe cale fotografică se definește prin relația

$$m_{\text{lg lim}} = 4 + 5 \log D + 2{,}15 \log t \qquad (2.6)$$

unde D este diametrul obiectivului exprimat în centimetri iar t reprezintă timpul de expunere exprimat în minute. De aici se vede că la o lunetă cu $D = 10$ cm și timpul de expunere $t = 10$ minute, se pot înregistra stele pînă la magnitudinea

$$m_{\text{lg lim}} = 4 + 5 + 2{,}15 = 11{,}15$$

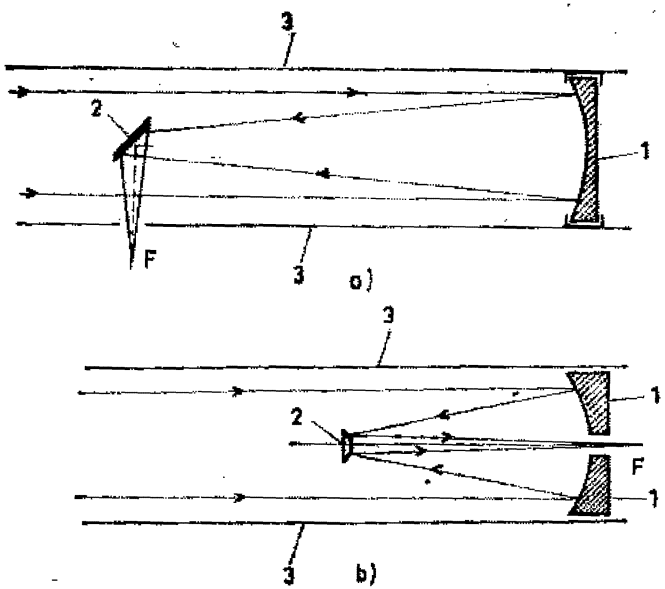
Observație. Deoarece plăcile fotografice sînt sensibile la lungimi de undă mai mici decît acele la care este maximă sensibilitatea ochiului pentru observații fotografice se construiesc obiective speciale. În caz contrar, în astronomia fotografică se utilizează filtre care, însă, reduc puterea de pătrundere a lunetei respective spre domeniul fotografic.

b) *Construirea telescopului (reflectorul)*

Așa cum am mai amintit, o lunetă funcționează prin intermediul lentilelor care determină refracția luminii, formînd astfel un refractor (telescop dioptric). În cazul cînd lentila obiectiv este înlocuită printr-o oglindă sferică sau parabolică avem de-a face cu un *reflector* (telescop catoptric). În Franța, precum și la noi în țară, în vorbirea obișnuită, noțiunea de telescop este utilizată numai pentru reflectoare, pe cînd pentru refractoare se folosește termenul de lunetă.

Telescopul are o oglindă mare — oglinda principală — care joacă rolul de colector de lumină, o oglindă mică ca piesă auxiliară și ocularul care poate aparține la unul dintre tipurile amintite mai sus (fig. 2.5).

Oglinda principală a unui telescop este formată dintr-un disc de sticlă care este concav și acoperit cu un strat de argint sau aluminiu pe fața șlefuită. Principiul de formare a imaginii într-un telescop este arătat pe fig. 2.9, unde ne-am referit



2.9. Mersul razelor de lumină în interiorul telescopului: 1 = oglinda principală, 2 = oglinda secundară, 3 = tubul telescopului a) telescop de tip Newton cu oglinda secundară plană, b) telescop Cassegrain cu oglinda secundară convexă.

la reflectoarele de tip Newton (fig. 2.9 a) și Cassegrain (fig. 2.9 b).

În cazul telescopului Newton, oglinda plană se poate înlocui cu o prismă cu reflexie totală, la traversarea căreia razele de lumină suferă o deviere cu un unghi de 90° față de direcția inițială.

Monturile descrise în cazul lunetelor se pot utiliza fără modificări și în cazul telescoapelor.

În general, un reflector este mai ușor de construit decît un refractor. Tocmai de aceea, în istoria astronomiei, sînt cunoscuți mulți astronomi amatori care au adus contribuții importante prin utilizarea telescoapelor de construcție proprie.

În cadrul cercurilor de astronomi amatori se pot utiliza telescoape cu diametrul oglinzii principale cuprins între 15 și 30 cm. Astfel, de exemplu, telescopul școlar confecționat de către „Întreprinderea de material didactic" de pe lîngă

Ministerul Educației și Învățămîntului, cu diametrul oglinzii principale de 15 cm, are o optică bună, păcat că partea mecanică îl face inutilizabil.

Telescopul de tip Newton de la Observatorul din Cluj-Napoca (Stația de pe Dealul Feleacului) are diametrul oglinzii principale de 50 cm și permite observarea vizuală a stelelor pînă la magnitudinea 15, fotografic putînd fi înregistrate stele și mai slabe.

În anul 1908 a intrat în funcțiune faimosul telescop de la Observatorul „Mount Wilson", oglinda principală a acestuia avînd un diametru de 2,5 metri.

În anul 1949 a fost dat în funcțiune telescopul Hale de pe „Mount Palomar" în California (S.U.A.), oglinda principală a acestuia avînd diametrul de 5,08 m. Construcția telescopului a fost foarte costisitoare, a durat mult, iar dezlănțuirea celui de al doilea război mondial a amînat mult terminarea lucrărilor de instalare. Numai răcirea oglinzii a durat 11 luni, operația respectivă fiind ținută sub control tot timpul.

Acest telescop cîntărește 130 tone, are lungimea de 14 metri, montura este azimutală și cîntărește 150 tone, totul fiind adăpostit într-o cupolă cu diametrul de 45 m și grea de 1 000 tone. Astronomul care efectuează observații își are cabina de lucru în interiorul tubului telescopului.

Observațiile efectuate cu telescopul Hale au dus la rezultate deosebit de interesante, mai ales în domeniul astronomiei extragalactice. Cu expunerea de un minut se pot înregistra obiecte pînă la magnitudinea 19,7; cu o expunere de 3 minute se ajunge pînă la magnitudinea $m = 20{,}7$, iar o expunere de 10 ore permite înregistrarea unei galaxii de magnitudine aparentă $m = 23{,}0$ situată la o distanță de peste 2 miliarde ani lumină.

În partea de nord a Munților Caucaz, la Zelenciukskaia (U.R.S.S.), în anul 1975, a intrat în folosință telescopul cu oglinda mare de 6 m în diametru. Cu ajutorul acestuia se pot fotografia obiecte cosmice pînă la magnitudinea $m = 23—24$.

În prezent există preocupări de a construi telescoape uriașe și căutarea unor locuri potrivite pentru amplasarea lor. Se pare că dificultățile care se ivesc la realizarea unor astfel de instrumente vor fi ocolite prin utilizarea tehnicii moderne, aceasta contribuind și la o însemnată reducere a prețului de cost. Amintim aici cîteva dintre proiectele moderne atît pentru informarea cititorului, cît și pentru a stimula preocupări noi în tehnica de construire a telescoapelor. Chiar dacă este vorba de telescoapele pentru astronomii amatori, tehnica modernă trebuie cunoscută și aplicată.

Pentru evitarea neajunsurilor și dificultăților legate de construirea unei oglinzi mari — a unui telescop puternic, două idei merită a fi menționate aici. În primul rînd se pune problema de a folosi mai multe oglinzi de construcție modernă pentru a recepționa radiația trimisă de un corp ceresc, oglinzile respective fiind astfel dispuse încît fluxul reflectat de ele să ajungă la un singur organ receptor. În acest caz oglinzile individuale ar reprezenta fiecare cîte un „receptor" cu montură și cupolă proprie, dar ar lucra ca și un singur telescop care ar avea o singură oglindă, suprafața utilă a acestuia din urmă fiind egală cu suma suprafețelor individuale. Ar fi vorba de un telescop alcătuit din mai multe telescoape componente.

Cea de a doua posibilitate se referă la construirea unui telescop cu o singură oglindă, dar care să fie compusă din mai multe oglinzi — un mozaic de oglinzi — care să aibă o singură montură și să fie adăpostite într-o singură cupolă.

În ambele cazuri menționate mai sus se ridică probleme de reglare fină a oglinzilor componente — fasciculele individuale să ajungă într-un singur focar, astfel de operații fiind posibile astăzi cu ajutorul laserului.

În ultimul timp, Observatorul Lick al Universității din California (Mount Hamilton) a primit un ajutor de 1 100 000 dolari pentru construirea unui telescop a cărei oglindă principală să aibă diametrul de 10 m. O astfel de oglindă este prevăzută a fi alcătuită din 60 componente hexagonale, fiecare componentă avînd grosimea de numai 10 cm, fapt care va face ca telescopul proiectat să aibă greutatea de numai 15 tone, de același ordin de mărime ca și al telescoapelor de 4 m de la Kitt Peak (Arizona) sau Cerro Tololo (Observatorul Interamerican, La Serena, Chile).

La Observatorul Kitt Peak al Universității din Arizona este conceput un telescop uriaș cu un mozaic de oglinzi. Opt oglinzi parabolice, cu diametrul de 5 m fiecare, urmează a fi amplasate pe o singură montură și într-o singură cupolă. Prin aceasta se prevede obținerea unei oglinzi cu o eficiență asemănătoare cu aceea a unei oglinzi convenționale

(dintr-o singură bucată) cu diametrul de 14 m, pe cînd greutatea și prețul de fabricație ar fi asemănătoare cu acele ale unui telescop cu diametrul oglinzii (convenționale) de 4 metri.

La Observatorul European din Sud (ESO=European Southern Observatory), în Chile, se urmărește proiectarea și realizarea unui telescop cu diametrul „oglinzii" de 16,4 m care să fie bazat pe un mozaic din 18 oglinzi componente.

În U.R.S.S. se urmărește posibilitatea de a realiza un telescop cu diametrul de 25 m, oglinda principală a acestuia urmînd a fi alcătuită din 500 oglinzi componente de formă hexagonală.

Desigur, telescoapele mari sînt foarte costisitoare, în prezent (1981) pentru un telescop cu diametrul de 25 m s-a evaluat un preț de circa două miliarde dolari. Totuși, astfel de instrumente urmează a fi construite în viitor, fondurile alocate fiind destinate observării obiectelor cosmice situate undeva la „limita Universului Observabil".

Pe lîngă cele menționate mai sus, trebuie să mai subliniem și faptul că pentru anii de la finele secolului nostru se prevăd lansări de nave cosmice cu telescoape mari care să fotografieze cerul așa cum se prezintă el pentru observatorul situat undeva dincolo de păturile dense ale atmosferei terestre. Foarte probabil că în urma înregistrării întregului spectru electromagnetic astronomia viitorului va fi mult diferită de cea de azi.

Proiectele amintite mai sus ne interesează cel puțin din două puncte de vedere:

i) Un telescop „uriaș" ne-ar permite să observăm mai multe galaxii și roiuri de galaxii, prin aceasta precizînd și mai bine vîrsta Universului între limitele de 10 și 14 miliarde ani.

Observarea unor obiecte cosmice de magnitudine aparentă $m = 29$ ne-ar permite să ne dăm seama dacă Universul nostru se va dilata în continuare sau urmează o fază de contracție (colaps).

ii) Cunoscînd preocupările astronomilor specialiști în vederea îmbunătățirii tehnicii de observație, astronomii amatori ar putea trage anumite învățăminte pentru a proceda în consecință. Astfel, de exemplu, un receptor pentru radiația energiei solare ar putea fi realizat și numai cu oglinzi plane. În acest scop, considerînd că în vîrful unui turn este instalat un receptor, prin amplasarea potrivită a unor oglinzi plane în jur — fiecare oglindă reflectînd imaginea Soarelui pe receptorul respectiv — s-ar putea capta o imensă cantitate de energie solară. În plus, prin intermediul unor mișcări de orologerie aplicate oglinzilor respective, s-ar putea realiza o recepționare continuă a energiei solare, indiferent în ce punct s-ar afla Soarele deasupra orizontului. Un astfel de receptor — telescop solar cu un număr mare de oglinzi — s-ar putea construi cu succes și în cadrul cercurilor de astronomi amatori. Procurarea oglinzilor plane și amplasarea lor pe teren depinde doar de abilitatea persoanelor respective.

În urma considerațiilor expuse, pentru cercurile de elevi și astronomi amatori, formulăm următoarea întrebare: Cu cîte oglinzi plane se poate aprinde un pachet de vată uscată, la anumite ore din zi și într-un anumit loc de pe suprafața Pămîntului?

c) *Reglarea sistemelor optice și așezarea lunetei în stația de observare.*

Avînd în vedere progresul înregistrat de tehnica zilelor noastre, în prezent, confecționarea unui telescop este mult mai ușoară decît era cu zeci de ani în urmă. Din magazinele de specialitate, sau prin comenzi la I.O.R. — București, se pot procura componentele optice necesare la construcțiile de lunete sau telescoape. Astfel de componente au fost confecționate și cu ocazia construirii așa-zișilor telescoape școlare care aveau o optică bună.

Confecționarea instrumentelor astronomice este mult ușurată și de faptul că din comerț se pot procura materiale necesare sau chiar piese componente. În plus, există o serie de ateliere în cadrul cărora se pot realiza, în condiții bune, piesele care nu se găsesc în comerț. Iată de ce, printre astronomii amatori care utilizează instrumente de construcție proprie se găsesc foarte mulți muncitori, tehnicieni sau ingineri.

În cadrul atelierelor școlă s-ar putea găsi un program adecvat și pentru construirea instrumentelor astronomice, instrumente care să intre în dotarea școlilor respective sau a caselor de cultură pe lîngă care activează cercuri de astronomi amatori. În cazul cînd unele școli sau cercuri de amatori dispun de posibilități pentru realizarea unor lentile sau oglinzi de bună calitate, ele ar trebui să fie utilizate pentru confec-

ționarea anumitor piese speciale cerute de tehnica astronomică. Desfășurarea unor astfel de activități ar fi bine venită atît pentru realizarea educației prin muncă, cît și pentru obținerea instrumentelor cu care, observînd cerul, să se contribuie la formarea unei concepții științifice despre lume.

Desigur, unii astronomi amatori ar putea deveni foarte buni specialiști în construcția de lentile și oglinzi astronomice, dar, avînd în vedere complexitatea problemei, expunerea detaliilor tehnice depășește scopul acestei cărți, fapt pentru care cititorii interesați sînt rugați să consulte lucrările citate în bibliografie.

Prin urmare, avînd în vedere posibilitățile tehnice existente și schemele de principiu ale lunetei (fig. 2.6 a) și ale telescopului (fig. 2.9), proiectarea și construirea instrumentelor astronomice le putem considera într-u totul realizabile. Mai rămîn însă problemele legate de reglarea fină a unor astfel de instrumente, așezarea lor în stația de observare și unele probleme privind întreținerea în condiții bune de funcționare; asupra acestor chestiuni trebuie să insistăm în cele ce urmează.

După cum rezultă din cele expuse mai sus, obiectivul și ocularul trebuie să fie astfel fixate în tubul de susținere încît axele lor optice să se suprapună între ele și să coincidă cu axa de simetrie a tubului de susținere. În mod grosolan, această condiție este îndeplinită prin însăși construcția tubului. În plus, pentru asigurarea unei reglări fine a sistemului optic, inelul de susținere al obiectivului (3) poate să fie prevăzut cu trei șuruburi paralele cu axa optică dispuse în formă de triunghi echilateral, fixarea unuia din aceste șuruburi fiind arătată în fig. 2.6 b.

Reglarea fină a sistemului optic se efectuează prin tatonări, în acest scop fiind necesar să observăm prin lunetă o stea strălucitoare, de culoare albastră sau albă, cum ar fi, de exemplu, α Lyrae (Vega).

Prin mișcarea tubului de susținere a ocularului (6), care glisează în partea gîtuită a tubului lunetei (7), putem constata o variație în dimensiunile imaginii stelare, poziția optimă a ocularului fiind aceea pentru care imaginea stelei apare cu dimensiuni minime și strălucire maximă. Se marchează această poziție și la ea vom reveni de fiecare dată cînd dorim să observăm imaginile focale ale corpurilor cerești.

Pentru reglarea fină a axelor optice ale obiectivului și ocularului este recomandabil să efectuăm observații extrafocale. În acest scop deplasînd ocularul cu cîțiva milimetri față de „poziția focală" stabilită mai înainte. În acest caz imaginea stelei se prezintă ca un disc iar conturul discului și distribuția strălucirii în interiorul lui sînt indicatori ai reglării fine a sistemelor optice.

Atunci cînd sistemele optice sînt bine reglate, discul imaginii stelare apare circular și cu strălucire uniformă. Aceste calități ale imaginii se obțin prin încercări, în acest scop rotind, într-un sens sau altul, cele trei șuruburi de reglare (11) din fig. 2.6. b.

La telescoape, cele trei șuruburi de reglare fină se aplică la suportul de susținere al oglinzii principale.

După ce ne-am convins că părțile optice ale unei lunete sau telescop sînt bine reglate, urmează cea de-a doua operație importantă — așezarea în stația de observare. Prin această operație se înțelege fixarea instrumentului pe locul de unde urmează să se efectueze observațiile, așezare care trebuie să fie astfel îndeplinită încît găsirea stelelor pe bolta cerească — „aducerea" lor în cîmpul vizual al instrumentului și urmărirea lor în mișcarea diurnă — să se efectueze cu cea mai mare ușurință posibilă.

În cazul montării azimutale trebuie ca axa verticală să fie într-adevăr verticală, fapt care se poate controla cu ajutorul „firului cu plumb". Pentru reglarea fină, la partea inferioară, această axă este prevăzută cu un mic trepied (trei picioare dispuse în formă de triunghi echilateral) picioruşele acestuia fiind reglabile prin intermediul unor șuruburi care se pot deplasa paralel cu axa verticală. Apoi, orizontalitatea axei orizontale — punctele (7) din fig. 2.7 — se verifică cu ajutorul unei nivele.

Pentru așezarea în stație a unui instrument cu montură ecuatorială trebuie să presupunem că baza pilastrului (2) din fig. 2.8 se sprijină de asemenea pe un trepied cu picioare reglabile în lungime. Așezarea în stația de observare a unei lunete cu montură ecuatorială se realizează prin observarea stelelor la meridianul locului. În acest scop se verifică înclinarea axei orare (3) din fig. 2.8, față de orizont, această înclinare trebuind să fie egală cu latitudinea locului care este cunoscută din observații, așa cum am indicat în paragraful 1.2. Apoi se așază pilastrul (2) astfel încît planul determinat

de axa orară (3) și verticala locului să fie conținut în planul meridianului și, prin aceasta, să conțină direcția nord-sud. Această așezare „grosolană" trebuie îmbunătățită prin aproximații succesive prin observarea stelelor în cîmpul vizual al instrumentului respectiv.

În vederea ameliorării poziției lunetei în stația de observare, orientăm obiectivul instrumentului în direcția sud a meridianului și observăm stelele la culminația superioară. Fixînd luneta în direcția sud, în cîmpul vizual imaginile stelare se vor deplasa de la dreapta spre stînga (vest-est). Această deplasare este cauzată de mișcarea diurnă, sensul vest-est fiind determinat de faptul că luneta astronomică dă imagini răsturnate ale obiectivelor observate. Dacă imaginea stelară se deplasează paralel cu orizontul, luneta respectivă este bine așezată în stație. În caz contrar, acționînd asupra șuruburilor de reglare de la trepiedul postamentului (2) putem îndeplini condiția respectivă.

Calitatea așezării unei lunete în stație se verifică prin observarea stelelor în afara planului meridian: în acest scop fixăm luneta astfel încît în centrul cîmpului vizual să observăm o stea mai strălucitoare — o stea cunoscută, apoi mișcăm luneta după cum se deplasează steaua în mișcarea diurnă. Dacă luneta este bine așezată, imaginea stelei respective va fi observată mereu în punctul central al cîmpului vizual. Dacă imaginea stelei are tendința de urcare sau coborîre față de punctul central, luneta nu este destul de bine așezată și trebuie să continuăm procesul de așezare fină.

Munca de reglare fină a poziției lunetei în stația de observare este mult ușurată dacă în focarul ocularului am dispune de un reticul (o cruce de fire) și față de acesta să reperăm mișcarea imaginii stelare în cîmpul vizual, un astfel de dispozitiv fiind descris la finele prezentului paragraf.

Dacă luneta are montură ecuatorială și s-a realizat o așezare corectă în stația de observare, pe axa orară se poate fixa o roată dințată asupra căreia să acționeze impulsurile date de un motor electric, mersul acestuia din urmă fiind controlat de o pendulă de timp sideral. În aceste condiții s-a realizat un *dispozitiv de orologerie* care, dacă este bine reglat, va face ca imaginea astrului observat să-și mențină poziția „fixă" în cîmpul ocularului.

În cadrul problemei legate de întreținerea aparatelor astronomice avem în vedere faptul că, în decursul timpului,

pot să apară unele defecțiuni: depunerea prafului pe părțile exterioare, ruginirea unor piese din fier ori alterarea stratului de argint sau aluminiu de pe suprafețele oglinzilor. De aceea, în vederea asigurării condițiilor optime de funcționare, astronomul trebuie să fie pregătit pentru înlăturarea neajunsurilor ivite pe parcurs. Dintre acestea, cea mai importantă problemă, asupra căreia considerăm că trebuie să ne oprim, este aceea a întreținerii în bune condiții a stratului reflectant de pe oglinzi. Pentru aceasta există cel puțin două posibilități: de a trimite oglinzile, din cînd în cînd, la un atelier pentru recondiționare, sau de a le arginta cu mijloace proprii, aluminizarea fiind un proces care depășește posibilitățile proprii ale astronomilor amatori, cel puțin dacă este vorba de acei amatori pentru care este scrisă această carte.

Procesul de argintare a unei oglinzi este relativ simplu și poate fi un mijloc de instruire a elevilor în cadrul orelor de laborator la lecțiile practice de chimie sau fizică. Acesta trebuie să fie cunoscut de către toți aceia care dispun de telescoape, fapt care ar putea evita așteptarea prea îndelungată ori dependența de bunăvoința unor responsabili de la atelierele de argintare sau aluminizare. Iată de ce prezentăm aici întregul proces de argintare, proces care constă din cel puțin trei etape: a) pregătirea soluțiilor, b) curățarea oglinzii și c) depunerea stratului de argint.

a) La procesul de argintare sînt necesare următoarele soluții:

— *Soluția I* (soluția de zahăr) este alcătuită din 15 grame de glucoză pură care sînt introduse în 100 cm^3 apă distilată, la care se mai adaugă 0,5 cm^3 acid azotic. Acest amestec se fierbe timp de o oră, iar după răcire se adaugă 15 cm^3 alcool (pur). Soluția astfel obținută se trece prin hîrtie de filtru la care, apoi, se mai adaugă apă distilată pînă cînd se umple un recipient de un litru. Recipientul cu soluția astfel obținută se păstrează la întuneric.

— *Soluția II* (soluția de argint) este rezultatul amestecului a altor două soluții, pentru obținerea cărora procedăm în felul următor:

A) Într-un recipient de circa 0,5 litri se dizolvă 12 grame de hidrat de potasiu în 200 cm^3 apă distilată.

B) Într-un recipient cu capacitatea de 5 litri (sau mai mare) se dizolvă 30 grame de azotat de argint ($AgNO_3$) în 200 cm^3 apă distilată.

Conținutul soluției A se varsă peste soluția B, dar avem grijă ca în recipientul corespunzător să mai rămînă puțină soluție de hidrat de potasiu necesară la procesul de curățare.

După ce amestecul A+B este agitat 0,5 minute, așteptăm 2 minute în care timp recipientul respectiv stă nemișcat pe masă. În acest timp se observă formarea unui precipitat — un strat de substanță gri — care se depune la fundul recipientului, iar deasupra precipitatului se află un lichid „murdar" După cele două minute de așteptare, partea lichida se varsă, avînd grijă ca precipitatul să nu se mai amestece cu lichidul și să rămînă în recipient. Apoi, în recipientul cu precipitatul de argint se toarnă iarăși 200 cm³ de apă distilată, se agită 0,5 minute și se așteaptă 2 minute. Apoi se varsă lichidul murdar și operația de spălare este continuată de circa 4 ori.

Peste precipitatul obținut prin spălarea descrisă mai sus se toarnă 10 cm³ amoniac cu greutatea specifică 0,91. Se agită 0,5 minute și, indiferent dacă tot precipitatul a trecut sau nu în soluție, se adaugă 5 litri de apă distilată. Soluția astfel obținută — *soluția II* — se păstrează într-un loc întunecos, dar nu mai mult de 48 ore.

— *Soluția III.* Într-un vas mic, într-o linguriță de apă distilată se dizolvă o mică cantitate de oxid de fier.

— *Soluția IV.* Într-o farfurioară cu 3—4 linguriță de apă distilată se dizolvă 0,25 linguriță de stanium cloratum.

b) Curățarea oglinzii se face într-o sală cu ferestrele deschise. Mai întîi trebuie spălat stratul vechi de argint; în acest scop oglinda este așezată pe un suport de lemn, cu fața șlefuită în sus. La început se toarnă cîteva picături de acid azotic concentrat (fumans), iar cu un tampon de vată legată într-o cîrpă albă (bucată de cearceaf sau față de pernă veche) se freacă bine suprafața șlefuită a oglinzii, operația fiind continuată pînă începe să se audă un zgomot (scîrțîit) caracteristic sticlei curate. Apoi se pun cîteva picături de hidrat de potasiu păstrate în recipientul în care a fost pregătită soluția A. Cu un tampon de vată curată se freacă oglinda pînă se aude iarăși zgomotul caracteristic sticlei curate. Apoi se toarnă cîteva picături de alcool și se freacă bine cu un tampon de vată.

Peste suprafața concavă astfel curățată se pun cîteva picături de oxid de fier din soluția III și, iarăși, cu un tampon de vată se freacă oglinda pînă cînd se aude acel scîrțîit caracteristic. Apoi, în același mod se efectuează spălarea cu alcool, după care se toarnă cîteva picături din soluția IV care se întinde peste toată suprafața care urmează a fi argintată, în acest scop putînd fi utilizată o pensulă fină. După aceste operații de spălare, peste suprafața oglinzii va curge în continuare apă distilată și se va avea grijă ca să nu mai ajungă aerul la partea curățată.

c) În timp ce apa distilată acoperă suprafața curățată a oglinzii, se pregătesc soluțiile de argintare. În acest scop, se amestecă 20 cm³ din soluția I (soluția de zahăr) cu 80 cm³ din soluția de argint (soluția II) și se toarnă peste suprafața concavă a oglinzii, această ultimă operație fiind astfel efectuată încît amestecul respectiv să acopere suprafața oglinzii imediat ce s-a oprit șuvoiul de apă distilată.

În timpul în care soluțiile de zahăr și argint se află pe suprafața oglinzii, avem în vedere ca suportul din lemn pe care este așezată oglinda să fie în așa fel mișcat încît soluția respectivă să se deplaseze pe suprafață, dar să nu se scurgă jos. Eventual, dintr-o bucată de hîrtie trecută prin parafină, se poate confecționa o ramă care să înconjure oglinda ca o bordură și, prin aceasta, să nu permită soluției să se verse.

În momentul cînd observăm că soluția de pe oglindă capătă o culoare închisă, desfăcînd „bordura" de hîrtie parafinată, se varsă soluția și, în același timp, se toarnă apă distilată, dar acest schimb se execută atît de repede încît la suprafața oglinzii să nu pătrundă aerul.

Operația de turnare a soluțiilor de argintare este repetată de 7—8 ori. Pentru controlul grosimii stratului de argint depus, în timpul spălării cu apă distilată putem ridica oglinda și, ținînd-o spre ochi cu fața neargintată, să privim prin ea spre o sursă de lumină; cu cît stratul de argint este mai gros, cu atît mai slabă va apare sursa respectivă.

Dacă este cazul, suprafața proaspăt argintată poate fi „curățată", în acest scop utilizînd o bucată de piele de căprioară (material de șters ochelarii) pe care, eventual, se pun cîteva picături din soluția III (oxid de fier). Acest procedeu de curățare poate fi utilizat și în alte ocazii, cînd oglinda a fost acoperită cu un strat de praf, dar astfel de situații trebuie evitate pe cît posibil.

Pentru argintarea oglinzilor este recomandabil a evita orice grad de impurități, totul trebuie să fie foarte curat,

iar în timpul depunerii stratului de argint s-ar putea utiliz mănuși de cauciuc.

Observație. Rețeta de mai sus, privind depunerea stratu lui de argint pe suprafețele concave ale oglinzilor, a fost utilizată la Observatorul din Cluj-Napoca pentru argintarea unei oglinzi de 50 cm în diametru. Pentru oglinzi mai mici, întreaga rețetă se poate reduce în mod corespunzător.

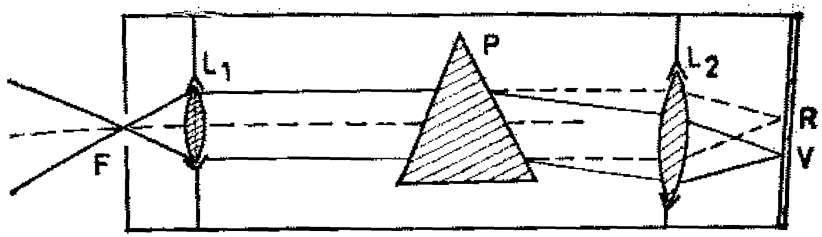
Ori de cîte ori a fost aplicată rețeta de mai sus fără a fi respectat întocmai condițiile de curățenie și de spălare a oglinzii, argintarea nu a reușit. Stratul de argint s-a depus în formă de pete mate sau întunecate, fapt pentru care întreaga operație de argintare a trebuit să fie reluată, într-o altă zi.

Oricît de bine ar reuși o argintare, oglinda respectivă nu îndeplinește condiții bune de observare pe un interval de timp mai mare de 6 luni. După o astfel de perioadă trebuie reîmprospătat stratul de argint.

d) *Instrumente accesorii: spectrograful, fotometrul, ecranul solar și micrometrul.*

Așa cum am mai arătat în paginile anterioare, dacă în locul ocularului se instalează o casetă fotografică, placa sensibilă a acesteia fiind așezată în focarul obiectivului, receptorul de lumină este placa fotografică, întreg dispozitivul fiind numit *astrograf*. În mod analog, dacă în locul ocularului se montează un spectroscop, recepționarea energiei se efectuează prin înregistrarea imaginii fantei la diferite lungimi de undă. Dacă aceste imagini sînt înregistrate pe placa fotografică, instalația respectivă se va numi *spectrograf*.

În fig. 2.10 este reprezentat, schematic, principiul de funcționare al spectrografului care ar putea fi utilizat în practica astronomilor amatori mai pretențioși. Aici F este fanta situată în focarul obiectivului lunetei sau telescopului. Lentila L_1 se numește *lentilă colimatoare*, focarul ei coincide cu focarul obiectivului, fapt pentru care fasciculul divergent de radiații venite de la fantă este transformat într-un fascicul paralel care, apoi, traversează prisma P. În momentul în care raza de lumină ajunge la suprafața prismei, în conformitate cu legile fizicii, este deviată spre baza prismei, deviația respectivă fiind diferită pentru radiații de culori diferite. Cel mai puțin sînt deviate razele roșii, portocalii etc., iar cel mai mult sînt deviate razele ultraviolete și violete.



2.10. Construcția spectroscopului: F = fantă situată în focarul obiectivului lunetei sau telescopului, L_1 = lentila colimatoare, L_2 = lentilă biconvexă, P = prismă optică, R, V = puncte pe placa fotografică în care se formează imagini roșii și respectiv violete.

Fasciculul, deviat și dispersat, trece mai departe printr-o a doua lentilă acromatică L_2 care construiește în planul său focal imaginile monocromatice ale fantei, imagini care se proiectează pe placa fotografică, iar ansamblul acestor imagini se numește spectrul sursei analizate.

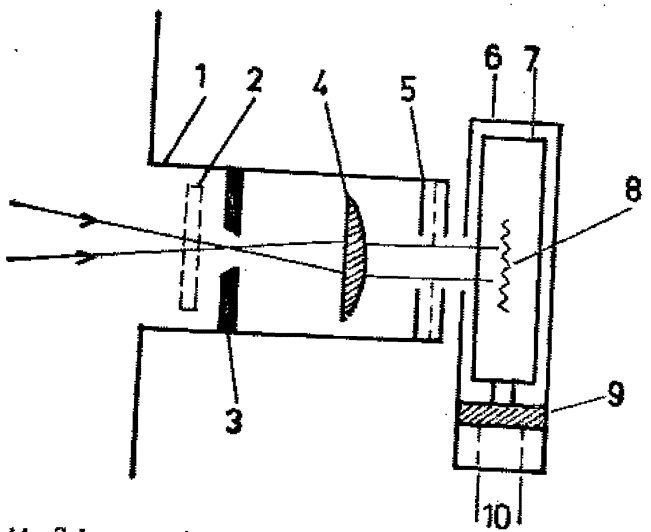
Dacă în locul plăcii fotografice se utilizează un ocular, atunci, așa cum am mai amintit, este vorba de un *spectroscop stelar*. Observațiile efectuate cu o tehnică de acest fel stau la baza analizei spectrale despre care a fost vorba în paragraful 1.3.

Dacă în locul ochiului ca organ receptor se utilizează o celulă fotoelectrică sau un fotomultiplicator se realizează un fotometru fotoelectric a cărui schemă de principiu este dată în fig. 2.11.

Dacă în drumul radiațiilor electromagnetice se pun sticle colorate — filtre — energia recepționată va aparține unui domeniu spectral bine delimitat de către proprietățile fizice și transparența filtrului respectiv, domeniul spectral corespunzător fiind caracterizat prin anumite lungimi de undă. Astfel, dacă filtrele (2) din fig. 2.11 îndeplinesc anumite condiții, se realizează un anumit sistem fotometric.

Lentila de cîmp (4) are rolul de a transforma fasciculul divergent în unul paralel cu axa optică și care să fie proiectat pe fotocatoda fotomultiplicatorului de tip RCA 1P21, în cazul din fig. 2.11.

Dacă fotomultiplicatorul este alimentat cu tensiune înaltă de curent continuu, de exemplu 900 volți, curentul de fotoni (lumina) care cade pe fotocatodă este transformat în curent electric (fotoelectric) care iese prin unul din cablurile (10). După amplificare, curentul fotoelectric este condus



2.11. Schema optică a fotometrului fotoelectric: 1 = tubul telescopului, 2 = filtru, 3 = dispozitiv pentru diafragmarea cîmpului vizual în focar, 4 = lentilă Fabry, 5 = dispozitiv de obturare, 6 = tub de aluminiu, 7 = fotomultiplicator RCA 1P21, 8 = fotocatodă, 9 = soclu, 10 = ieşirea curentului fotoelectric.

la un înregistrator grafic sau numeric, prelucrări suplimentare fiind efectuate ulterior de către astronomi.

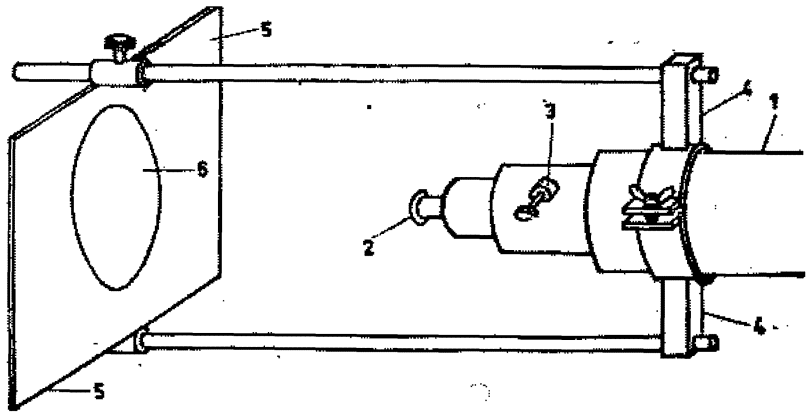
Prin urmare, construirea unui fotometru fotoelectric nu este un lucru prea complicat, acesta este realizabil în cadrul unor cercuri de elevi sau studenţi, elementele componente putînd fi găsite în laboratoarele de fizică conduse de profesori competenţi. În unele cazuri, fotometrele fotoelectrice se construiesc în cadrul cercurilor de fizicieni amatori, iar aplicarea lor în astronomie constituie unul dintre domeniile în care colaborarea dintre cercurile de amatori din diferite domenii este deosebit de utilă. Şi în acest domeniu există astronomi amatori ale căror rezultate pot fi situate pe locurile fruntaşe, uneori depăşind activitatea profesioniştilor.

Fotometrul fotoelectric este deosebit de important în problemele care privesc cercetarea strălucirii corpurilor cereşti dintre care cel mai frecvent sînt urmărite stelele variabile (vezi paragraful 4.2).

Dacă ne referim la observarea Soarelui prin lunetă sau telescop, amintim că trebuie să utilizăm filtre colorate sau

sticlă afumată, prin intermediul cărora să se reducă considerabil intensitatea luminii, în modul acesta evitîndu-se unele accidente deosebit de primejdioase. În anumite cazuri, însă, cum este acela al observării petelor solare, observarea Soarelui devine foarte comodă dacă în drumul razelor care au ieşit din ocular instalăm un *ecran de proiecţie*. Construcţia unui astfel de dispozitiv este arătată în fig. 2.12. Aici, pe o foaie de hîrtie albă se proiectează Soarele ca un disc luminos al cărui diametru este cu atît mai mare, cu cît este mai departe ecranul de ocular. În această proiecţie petele solare apar ca nişte porţiuni ceva mai închise la culoare decît restul discului solar. Dacă luneta dispune de o mişcare de orologerie bună, discul solar cu petele sale poate fi observat proiectîndu-se în acelaşi loc într-un interval mai mare de timp. Aşa se pot efectua observaţii de bună calitate, observaţii cerute de cooperarea internaţională în fizica Soarelui. Vom reveni asupra unor probleme de acest fel în paragraful 3.7 d.

În foarte multe cazuri este necesar ca în interiorul cîmpului vizual al ocularului să dispunem de anumite repere care să marcheze, de exemplu, centrul cîmpului respectiv sau unele distanţe unghiulare faţă de el. În acest scop, pe extremitatea dinspre obiectiv a tubului ocularului, în planul focal



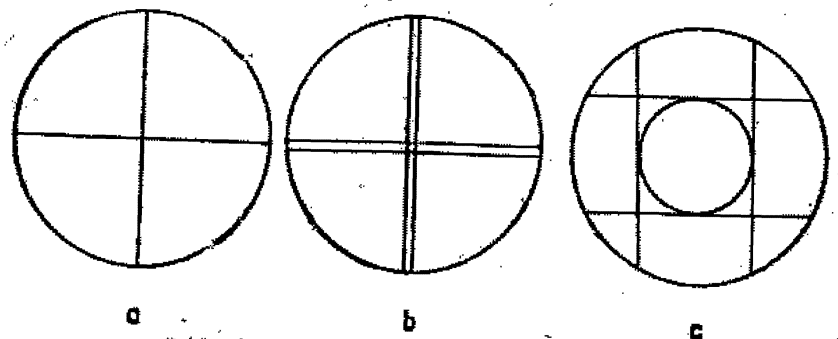
2.12. Construcţia şi utilizarea ecranului solar: 1 = tubul lunetei, 2 = ocular, 3 = şurub pentru reglarea distanţei focale, 4 = dispozitiv pentru fixarea ecranului solar, 5 = ecran pentru proiectarea imaginii solare, 6 = discul solar proiectat pe ecran.

al ocularului, se pot lipi niște fire foarte subțiri — fire reticulare — care, prin intersecția lor, determină anumite puncte de reper. Astfel de fire pot fi luate dintr-o pînză de păianjen, pot să fie fire sintetice sau chiar sîrmă foarte subțire. Eventual, dacă dispunem de mai multe oculare, ocularul cu reticul se recomandă a fi utilizat numai cînd se efectuează măsurări de distanțe unghiulare, în alte categorii de observații existența a prea multe fire în cîmpul vizual poate să devină incomodă.

În fig. 2.13a avem aspectul unui reticul simplu determinat de intersecția a două fire perpendiculare. În fig. 2.13b avem patru fire paralele și perpendiculare două cîte două, pe cînd în fig. 2.13c firele paralele sînt mult mai distanțate între ele, iar cercul din interior este potrivit pentru observarea discului unei planete, de exemplu.

Prin observarea stelelor duble (vezi paragraful 4.4) se poate cunoaște distanțele unghiulare (în secunde de arc) dintre diferite repere reticulare, aceste distanțe putînd fi apoi, utilizate pentru determinarea unor distanțe unghiulare necunoscute.

Atunci cînd firele reticulare sînt lipite pe cadrane mobile prin intermediul unor șuruburi, ele pot fi deplasate, iar deplasările respective se înregistrează pe cercuri gradate situate în exterior. Un astfel de dispozitiv se numește *micrometru*, construcția acestuia fiind mai complicată; pentru descrierea lui trimitem cititorul la literatura de specialitate [8].



2.13. Aspectul celor mai simple reticule.

2.2. Instrumente pentru astronomia invizibilului [26],[41]

Desigur, astronomia invizibilului este foarte pretențioasă din punct de vedere tehnic, aparatura necesară neputînd fi realizată de către toți astronomii amatori. Totuși, astăzi se vorbește foarte mult despre rezultatele obținute în acest domeniu, fapt pentru care am considerat util să spunem cîteva cuvinte despre instrumentele cele mai importante de care face uz astronomia invizibilului.

Revenind la fig. 2.2, în partea stîngă a domeniului vizual (spre extremitatea lungimilor de undă scurte) se află domeniile corespunzătoare radiațiilor ultraviolete, a razelor X (röntgen) și a radiațiilor gamma. Radiațiile emise în aceste domenii vin spre Pămînt unde sînt absorbite de atmosferă și nu pot ajunge pînă la observatorul terestru. De aceea, cercetarea unor astfel de radiații a devenit posibilă abia după ce rachetele și sateliții artificiali au ridicat telescoape speciale dincolo de păturile dense ale atmosferei terestre, la o înălțime de peste 60 kilometri.

Pentru înregistrarea radiațiilor cu lungimi de undă $\lambda < 3000\text{Å}$ se folosesc receptoare bazate pe fotoelemente, numărătoare de fotoni și fotomultiplicatoare. În modul acesta, începînd cu anul 1962 apare o nouă ramură a astronomiei — astronomia razelor X sau astronomia röntgen, primele înregistrări de acest fel fiind legate de sursa de raze X din constelația Scorpius (Scorpionul), cunoscută sub notația Sco X-1 (= prima sursă de raze X din Scorpius). Alte experimente cu receptoare de raze X lansate cu rachete au dus la descoperirea a încă a 30 de surse de raze X galactice și două extragalactice (M-87 și 3C-273). Dar o amplă cercetare a unor astfel de surse a devenit posibilă numai după lansarea observatoarelor orbitale, începutul acestei etape noi de cercetare coincizînd cu lansarea satelitului artificial UHURU, nume care în limba swahili înseamnă libertate. Acest satelit, lansat de NASA la data de 12 decembrie 1970, cunoscut și sub denumirea de Explorer 42, era înzestrat cu detectoare de raze X și avea sarcina să examineze întreaga boltă cerească și să înregistreze sursele respective. El a descoperit circa 200 astfel de surse și reprezintă începutul unei serii de sateliți artificiali ai Pămîntului pregătiți pentru un anumit tip de cercetare astronomică. Iată cîțiva dintre aceștia:

— În martie 1972 a fost lansat satelitul ESRO TD-1 A (= European Space Research Organization) dotat cu aparate pentru înregistrarea radiațiilor din domeniile spectrale învecinate cu lungimile de undă $\lambda = 2\,100$, $2\,500$ și $2\,800$ Å.

— Satelitul Copernicus a fost lansat la 21 august 1972. În timpul pregătirilor pentru lansare acesta era cunoscut sub denumirea de OAO -C = OAO-3, dar mai tîrziu a primit numele marelui astronom polonez, Nicolaus Copernic, de la nașterea căruia se împlineau atunci 500 de ani.

— Satelitul englez *Ariel 5* este lansat la 15 octombrie 1974.

— Satelitul american SAS-3 (= the third Small Astronomical Satellite) a fost lansat în luna mai 1975.

— Observatorul solar OSO-8 a fost lansat la 21 iunie 1975.

— Satelitul olandez ANS (= Astronomical Netherlands Satellite) a fost lansat în decembrie 1975.

— La 12 august 1977 a fost lansat satelitul american HEAO-1 (= the first High Energy Astronomy Observatory) destinat cercetărilor energiilor înalte.

— Satelitul american HEAO-2 lansat în martie 1978 a primit numele marelui fizician Albert Einstein (1879—1955).

Am amintit aici doar cîteva dintre cele mai semnificative rezultate ale tehnicii privind lansarea de aparatură pentru cercetarea surselor de radiații X. Rezultatele sînt uimitoare, chiar și numai pentru o simplă enumerare a lor ar fi nevoie de volume întregi. De aceea, aici, noi nu putem să ne oprim mai mult, cîte ceva vom mai aminti atunci cînd va fi vorba despre anumite corpuri cerești.

Trecînd în partea dreaptă a domeniului vizual, în partea lungimilor de undă mai mari (vezi fig. 2.2), avem domeniul radiațiilor infraroșii. Recepționarea acestor radiații este foarte importantă, dar și foarte dificilă.

După cum se știe, corpurile care au temperatura cuprinsă între 50° și 5 000°K radiază energie în domeniul infraroșu. Circa 50% din radiația Soarelui se găsește în acest domeniu. Un calorifer sau o sobă de teracotă, de exemplu, radiază în domeniul infraroșu.

Începuturile astronomiei în infraroșu aparțin celei de a doua decade a secolului nostru, dar adevărata dezvoltare a ei s-a produs abia atunci cînd receptoare speciale au fost

lansate dincolo de păturile dense ale atmosferei terestre, la o înălțime de peste 25 km.

Din 1979, Universitatea din Hawaii, în colaborare cu astronomii englezi, a pus la dispoziția cercetătorilor un telescop destinat observațiilor în infraroșu, instalat pe vîrful vulcanului Mauna Kea la o altitudine de 4 200 metri, telescopul fiind aici deasupra a 90% din vaporii de apă atmosferici și a atmosferei terestre.

În principiu, receptoarele pentru înregistrarea radiației infraroșii se împart în două categorii: termice și fotoelectrice. Receptoarele termice funcționează pe principiul variației temperaturii unui termoelement simplu sensibil la acțiunea radiației infraroșii, acesta fiind sensibil la o gamă de lungimi de undă din acest domeniu. Receptoarele fotoelectrice înregistrează radiațiile infraroșii la anumite lungimi de undă, în funcție de sensibilitatea fotocatodei fotomultiplicatorului utilizat.

Avînd în vedere faptul că receptoarele pentru infraroșu sînt puternic influențate de „zgomotul de fond" — radiația perturbatoare emisă de alte corpuri decît cel studiat, pentru buna funcționare a acestora se cere o răcire pînă în apropierea lui zero absolut. Eliminarea acestui zgomot este o problemă dificilă, dar esențială pentru astronomia în infraroșu.

Cercetările astronomice bazate pe observații în infraroșu au adus informații deosebit de importante; dintre acestea amintim doar cîteva.

S-au cules date observaționale privind spectrele planetelor și sateliților lor, rezultatele fiind utilizate pentru studiul compoziției chimice a atmosferelor planetare. Tot în acest scop au fost întreprinse studii privind radiația termică emisă de planete.

A fost cercetată natura compoziției mediului interstelar, aici atenția fiind acordată unor nori moleculari și aglomerărilor de materie obscură.

S-au obținut date noi privind procesul de formare a stelelor din mediul interstelar și a unor obiecte „seăldate" în materia din care se formează stelele. Au fost observate obiecte protostelare și unele stele mici de pe secvența principală.

S-a analizat modul în care se desfășoară procesul de desprindere și dispersare a unor straturi de materie circumstelară. Cu această ocazie s-a constatat că o serie de stele lumi-

noase de tipuri spectrale timpurii suferă pierdere de masă, o parte însemnată din masa pierdută fiind cedată mediului interstelar, unele stele fierbinți de tipul Wolf-Rayet pierzînd circa 0,00001 mase solare pe an din învelișul lor exterior.

Cu ajutorul instrumentelor sensibile la infraroșu au fost descoperite stele puternic evoluate care sînt bogate în carbon, fapt care aduce informații asupra stadiilor avansate ale procesului de evoluție stelară.

A fost cercetată natura nucleului Galaxiei noastre și ale altor galaxii îndepărtate. S-au obținut date observaționale privind natura componentelor unor sisteme stelare extragalactice. S-au îmbogățit informațiile despre natura nucleelor active ale anumitor galaxii. S-a studiat procesul de formare rapidă a stelelor în nucleele unor galaxii.

Astronomia în infraroșu are o contribuție însemnată la dezvoltarea generală a astronomiei extragalactice.

În privința metodelor de lucru, menționăm aici faptul că la Observatorul Kitt Peak, începînd din anul 1977, cu un telescop de 1,3 m în diametru, este urmărită steaua variabilă β Lyrae în raze infraroșii, majoritatea observațiilor fiind efectuate în timpul zilei, nu noaptea.

În fine, pentru recepționarea radiațiilor din extrema dreaptă a spectrului electromagnetic, radiațiile cu lungimi de undă mari (vezi fig. 2.2), se utilizează receptoarele de unde radio — radiotelescoapele.

Piesa colectoare a unui radiotelescop poate fi o oglindă mare, ca la telescoapele optice, sau o antenă complicată.

Pentru recepționarea radiațiilor cu lungimi de undă mai mici de 3 metri, colectorul radiotelescopului este o oglindă metalică în formă de paraboloid, în focarul acesteia fiind amplasată o antenă mică receptoare — *un radiator* care conduce semnalul recepționat la un amplificator și apoi la un înregistrator, acesta din urmă putînd fi un miliampermetru sau un oscilograf.

În cazul cînd este vorba de recepționarea radiațiilor cu lungimi de undă mai mari de 3 metri, în locul oglinzilor metalice, în calitate de piesă colectoare, se utilizează antene complicate care constau din mai multe antene simple și care, de fapt, sînt niște bare metalice cu lungimea egală cu jumătate din lungimea de undă a radiației care urmează a fi recepționată. Este vorba de dipoli de semi-undă.

Spre deosebire de radiotelescoapele cu antene, cele cu oglinzi au posibilitatea să funcționeze pe diferite lungimi de undă. Această posibilitate este determinată de faptul că oglinda parabolică captează radiațiile radio de toate lungimile de undă, acordarea radiotelescopului pentru anumite unde fiind realizată doar prin schimbarea instalației din focarul respectiv.

În general, confecționarea oglinzilor metalice pentru radiotelescoape este mult mai simplă decît a celor pentru telescoapele optice. Acest avantaj provine de acolo că, la radiotelescoape, neregularitățile cauzate de șlefuirea oglinzii nu sînt atît de dăunătoare ca în cazul telescoapelor optice. Din acest motiv, pentru radiotelescoape s-au putut realiza oglinzi metalice cu diametrele de peste 60 metri, în timp ce, așa cum am văzut, în prezent este pus în funcțiune un telescop optic cu oglinda de cel mult 6 metri și se prevăd construcții de oglinzi cu diametre mai mari, dar bazate pe unele combinații de oglinzi mici. Iată de ce, construirea unui radiotelescop depinde mai mult de abilitatea noastră de a duce radiația de la focarul oglinzii la înregistrator, astfel de cunoștințe fiind la îndemîna radio-amatorilor. Prin urmare, pentru construirea unui radiotelescop este nevoie de o strînsă colaborare între astronomii amatori și radio-amatori. De altfel, se știe că marile cuceriri privind spațiul cosmic se datoresc unei cooperări directe dintre diferiți specialiști, de la astronomi și pînă la cei mai versați ingineri specializați în domeniul construcțiilor de mașini și dispozitive de automatizare.

În orice caz, detaliile tehnice privind construirea și utilizarea propriu-zisă a unui radiotelescop depășesc cadrul acestei cărți, noțiunile de mai sus fiind enunțate cu scopul de a ușura înțelegerea unor rezultate importante obținute de radioastronomie. În capitolele următoare vom reveni asupra unor date deosebit de importante obținute de radioastronomie și vom sublinia contribuția acesteia la cunoașterea materialității Universului îndepărtat.

Capitolul 3

ACTIVITATEA ASTRONOMILOR AMATORI ÎN CADRUL CERCETĂRII CORPURILOR DIN SISTEMUL SOLAR

Să presupunem că ne găsim undeva în aer liber, într-o seară senină și fără Lună, iar deasupra noastră bolta cerească se prezintă în toată splendoarea sa. De data aceasta putem dispune de diferite mijloace de observare, de la ochiul neînarmat (ochiul liber) și pînă la cele mai perfecționate lunete și telescoape. În astfel de condiții, urmărind bolta cerească într-un interval mai mare de timp constatăm unele modificări care duc la descoperiri senzaționale.

3.1. Observarea meteorilor [35], [38]

Cu toate că, în urma indicațiilor prezentate în capitolul 1, ne-am obișnuit cu aspectul constelațiilor și cunoaștem stelele cele mai strălucitoare din ele, deseori, contemplarea noastră poate fi perturbată de așa-numitul fenomen al „stelelor căzătoare". La un moment dat putem avea impresia — falsă — că dintr-un punct al bolții cerești s-a desprins o stea și o ia razna, deși după o reexaminare sumară a firmamentului, constatăm imediat că toate stelele bolții cerești se află în pozițiile lor dinainte cunoscute.

Atît aparența simplă a fenomenului de „stea căzătoare" cît și superstițiile înrădăcinate în mintea omului lipsit de cunoștințe științifice au dus la concluzia aparentă că fiecare om își are steaua lui, că ea apare cînd omul se naște și dispare odată cu moartea lui. Astăzi, însă, se știe că nu există nici o legătură între fenomenul respectiv și viața omului pe Pămînt.

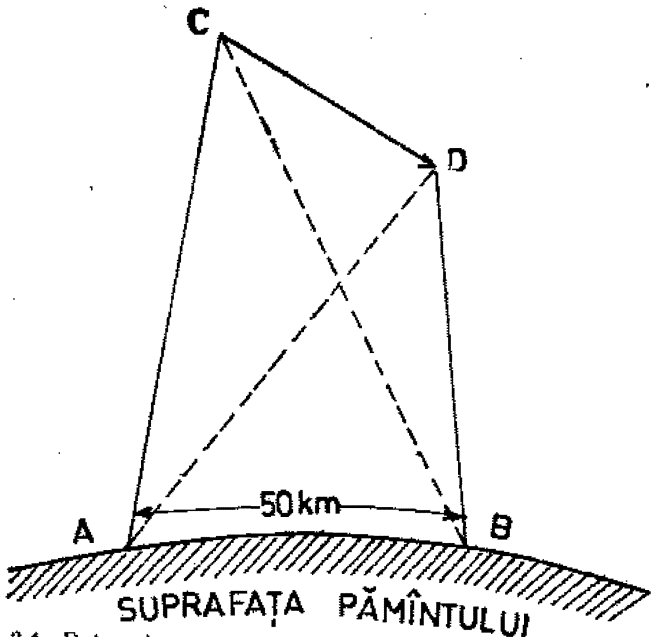
În mod obișnuit, cu ochiul liber, pe întreaga boltă cerească se pot observa, din ambele emisfere ale Pămîntului, doar cinci sau șase mii de stele, un număr mult mai mic decît cel al locuitorilor unui oraș modern. Prin urmare, nu există atîtea stele vizibile cu ochiul liber cîți locuitori are Pămîntul.

În anumite perioade ale anului se observă foarte multe „stele căzătoare", adevărate „ploi de stele". Uneori, în decurs de o oră cad spre Pămînt vreo trei sau patru mii de „stele", într-un an putîndu-se număra peste patru miliarde de „stele căzătoare". Prin urmare, dacă de fiecare dată cînd cade o „stea" ar muri cineva, în anumite cazuri ar trebui să se înregistreze catastrofe teribile care să ducă la dispariția omului de pe Pămînt. De aici concluzia clară, „căderea stelelor" nu are nimic comun cu viața noastră, greșită fiind credința după care, fiecare om își are steaua lui.

Spre uimirea observatorului neinițiat, după ce a trecut „ploaia de stele", toate stelele bolții cerești se găsesc la pozițiile lor ca și cum nimic nu s-ar fi întîmplat. În plus, stelele de pe bolta cerească se găsesc la depărtări de ordinul anilor lumină, pe cînd fenomenul „stelelor căzătoare" are loc în atmosfera terestră la o înălțime de numai 60—120 km deasupra suprafeței Pămîntului. Prin urmare, atunci cînd observăm o „stea căzătoare" nu poate fi vorba de căderea unei stele adevărate.

Pentru determinarea înălțimii la care se produce fenomenul de „stea căzătoare" se folosesc observații extrem de simple, la efectuarea cărora sînt solicitați și astronomii amatori. Iată în ce constă un astfel de proces.

În fig. 3.1, pe suprafața Pămîntului, în punctele A și B considerăm situați doi astronomi amatori care privesc spre aceeași constelație. La un moment dat ei vor vedea o imagine cu aspect stelar care apare în punctul C, cade în direcția $\overrightarrow{CD}$ și dispare în punctul D. Unghiurile $\widehat{BAC}$ și $\widehat{BAD}$ sînt măsurate de observatorul din A, aceste unghiuri fiind înălțimile punctelor respective deasupra orizontului, pe cînd observatorul din B măsoară unghiurile $\widehat{ABC}$ și $\widehat{ABD}$. În continuare mai presupunem că distanța AB, depărtarea dintre cei doi observatori, este cunoscută, în cazul de față a fost adoptată mărimea AB = 50 km. Prin urmare, din fig. 3.1. dispunem de niște triunghiuri (ΔABC și ΔADB), în care cunoaștem o latură și unghiurile alăturate, iar prin intermediul unor formule simple de trigonometrie plană se determină celelalte elemente ale triunghiurilor considerate. De aici rezultă, de exemplu, BC≈150 km și BD≈60 km, pe cînd,



3.1. Determinarea distanței pînă la „stelele căzătoare".

așa cum am mai amintit, cea mai apropiată stea se află la circa patru ani lumină.

Utilizînd un raționament asemănător cu cel expus mai sus, celebrul astronom E. Halley a reușit să calculeze (în anul 1714) distanțele la care apăreau și dispăreau „stelele căzătoare", precum și vitezele lor de deplasare. Prin aceasta el a arătat deja că este vorba de niște obiecte de natură cosmică care intră în atmosfera terestră.

Încercînd să explice natura „stelelor căzătoare" unii astronomi au ajuns la concluzia că ar fi vorba de un fenomen meteorologic asemănător cu fulgerul, fapt pentru care expresia „stea căzătoare" a fost înlocuită cu noțiunea de *meteor*, aceasta din urmă fiind utilizată și în prezent.

Pe cale observațională s-a pus în evidență faptul că meteorii sînt legați de niște corpuri minuscule — *corpuri meteorice* — care aparțin spațiului interplanetar unde circulă cu viteze de 20—30 km/s. În anumite cazuri, bine determinate, ele ajung în sfera de atracție intensă a Pămîntului și sînt supuse căderii spre suprafața terestră.

La înălțimea de numai 1—2 mii km deasupra suprafeței terestre, corpurile meteorice intră în păturile superioare ale atmosferei unde aerul este extrem de rarefiat, mișcarea lor efectuîndu-se încă nestingherită.

În drumul lor spre Pămînt, corpurile meteorice trec de la păturile puțin dense la pături atmosferice din ce în ce mai dense, astfel că pe la circa 200 km se face simțită frecarea cu aerul. În acest timp viteza lor începe să se reducă, straturile periferice se încălzesc iar moleculele gazului atmosferic sînt presate în fața corpului respectiv, formînd astfel o pernă de aer fierbinte.

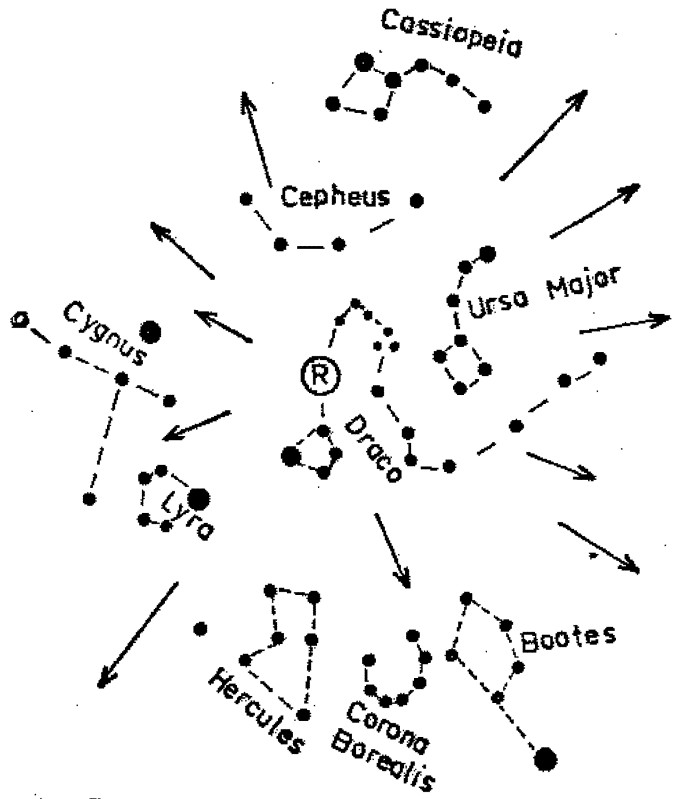
Coborînd la o înălțime mai mică de 130 km, prin frecarea cu aerul, corpul meteoric se aprinde, devine incandescent și strălucește atît de puternic încît poate fi observat și cu ochiul liber. În momentul aprinderii, pentru observatorul terestru corpul respectiv se prezintă ca și cum pe cer ar fi apărut o stea nouă.

Din cauza mișcării sale spațiale, imaginea luminoasă a corpului meteoric se deplasează pe bolta cerească, iar observatorului i se pare că este vorba de căderea unei stele. Cînd s-a terminat arderea materiei din corpul respectiv, pentru observatorul terestru s-a stins steaua.

Durata arderii corpului meteoric depinde de masa sa. În cazul cînd este vorba de corpuri masive, perna de aer are timp să se încălzească pînă la mii sau zeci de mii de grade. Gazele din jur devin incandescente și încep să lumineze, iar corpul respectiv apare ca un glob de foc urmat de o dîră luminoasă. Este vorba de observarea unui *bolid*. Dacă avem de-a face cu corpuri foarte masive, iar arderea lor nu se termină în timpul trecerii prin atmosfera terestră, ele se pot izbi de suprafața Pămîntului, astfel de corpuri fiind numite *meteoriți*.

Unele corpuri meteorice au mase foarte mici, frecarea lor prin atmosferă nu este destul de puternică, ele nu se aprind și nu produc fenomenul de meteor. Astfel de corpuri se numesc *micrometeoriți* și sînt foarte periculoase pentru aeronave și navele cosmice.

Dacă ne concentrăm atenția asupra acelor regiuni ale bolții cerești în care meteorii au o frecvență mai mare, constatăm, că, prelungind segmentele determinate de urmele meteorilor, se obține punctul de intersecție, R, al acestora. Un astfel de punct se numește *radiant*; el indică o origine



3.2. Determinarea radiantului unui roi de meteori.

comună a meteorilor dintr-o anumită constelație. În fig. 3.2. este prezentat schematic radiantul Draconidelor, adică roiul de meteori care au radiantul în constelația Draco. În mod asemănător se determină și radianții altor roiuri de meteori cum sînt, de exemplu, Leonidele în constelația Leul, Andromedidele în Andromeda, Orionidele în Orion etc. Cunoașterea momentelor cînd este maximă frecvența meteorilor dintr-un anumit roi ne permite să stabilim prognoza acestora și, astfel, să putem întocmi un plan corespunzător pentru observații. În tabelul 3.1 sînt dați cîțiva dintre cei mai importanți radianți de meteori. Denumirea acestora provine de la numele constelației în care se observă radiantul, de la steaua mai luminoasă lîngă care s-ar putea găsi radianții sau de la cometele de care ar fi legate roiurile re-

TABELUL 3.1.

Radianți de meteori

Denumirea radiantului	α	δ	Data activității maxime	Numărul maxim de meteori pe o oră	Steaua cea mai apropiată	Cometa asociată
Quadrantide	15h24m	+52°	3 ianuarie	40	k Boo	1861 (Thatcher)
Lyride	18h06m	+34°	21 aprilie	12	θ Lyr	1910 II (Halley)
η Aquaride	22h20m	—01°	4 mai	20	η Aqr	
β Cassiopeide	23h44m	+60°	27 iulie		β Cas	
Perseide	03h10m	+58°	12 august	60	k Per	1862 III
Giacobinide	17h32m	+54°	9 octombrie	20 000	υ Dra	1946 V (Giacobini-Zinner)
Orionide	06h18m	+15°	20 octombrie	25	ξ Ori	1910 II (Halley)
Tauride australe	03h22m	+14°	5 noiembrie	15	Pleiadele	1961 I (Encke)
Tauride boreale	03h42m	+23°	10 noiembrie	29	Pleiadele	
Andromedide	01h36m	+44°	14 noiembrie	5 000	χ And	1852 III (Biela)
Leonide	10h06m	+22°	15 noiembrie	10 000	γ Leo	1866 (Tempel)
Geminide	07h30m	+32°	13 decembrie	60	α Gem	
Ursidne	15h32m	+80°	22 decembrie	15	ζ UMi	1939 X (Tuttle)

pective. O excepție o constituie radiantul Quadrantidelor care a fost numit astfel de către J.J.F. Lalande (1732—1807), acest radiant fiind situat în constelația Quadrans (Cerc Mural) care astăzi este suprimată. Poziția respectivă se află la nord de steaua β Bootis.

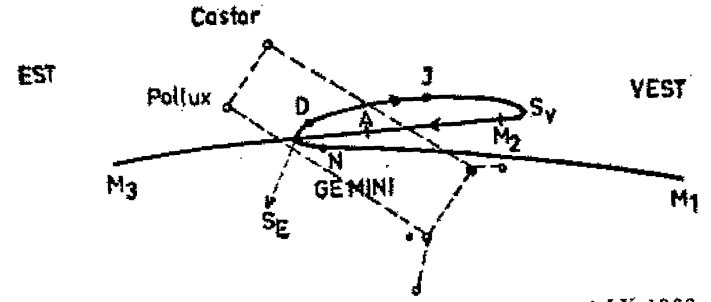
Din analiza matematică a datelor observaționale s-a stabilit o legătură între corpurile meteorice și celelalte corpuri ale sistemului solar. S-a constatat că în spațiu există îngrămădiri de corpuri meteorice care circulă pe orbite asemănătoare cu cele ale planetelor și cometelor, fapt care a dus la posibilitatea prevederii momentelor cînd se pot produce „ploi de stele". Prin urmare, analiza datelor observaționale, printre care și cele obținute de astronomii amatori, duce la concluzia că meteorii nu au nimic supranatural. În schimb, observarea sistematică a acestora contribuie la îmbogățirea cunoștințelor noastre despre sistemul solar.

3.2 **Observarea planetelor pe bolta cerească** [13], [15], [16], [20], [35]

După familiarizarea cu aspectul bolții cerești, astronomul amator este în stare să semnaleze apariția unui obiect „nou" în una din constelații. Astfel, de exemplu, în vecinătatea constelației Virgo (Fecioara), sau a altei constelații zodiacale, poate să apară un astru „nou" cu o strălucire aparentă asemănătoare cu aceea a stelelor cunoscute. În asemenea cazuri, dacă obiectul nou descoperit se deplasează încet printre stelele constelației respective, deplasarea putînd fi pusă în evidență abia după cîteva ore, zile sau săptămîni, ar putea fi vorba de prezența unei planete. Dealtfel, din cele mai vechi timpuri, planetele sînt considerate drept corpuri cerești care rătăcesc „printre stele", de aici denumirea lor de *stele rătăcitoare* (în greacă πλανετοσ = rătăcitor).

În urma observării planetelor „printre stele" s-a ajuns la concluzii foarte importante cu privire la mișcarea aparentă a acestora. În fig. 3.3. este prezentată mișcarea aparentă a planetei Marte, punctul M_1 reprezintă poziția acesteia la data de 1 septembrie 1960, iar în M_3 se afla planeta la data de 1 mai 1961.

După cum rezultă din fig. 3.3, în lunile septembrie-noiembrie, Marte s-a deplasat în sensul invers față de mișcarea acelor unui ceasornic — sensul direct, parcurgînd arcul

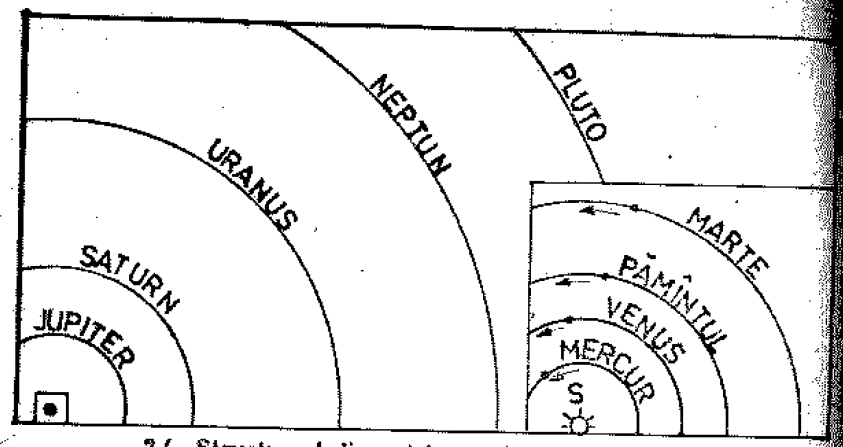


3.3. Mișcarea aparentă a planetei Marte între 1.IX.1960 și 1.V.1961.

$\widehat{M_1N}$. La sfîrșitul lunii noiembrie planeta se găsea în S_E unde părea că s-a oprit, fapt pentru care acest punct se numește *stație estică*.

De la sfîrșitul lunii noiembrie pînă la începutul lunii februarie, planeta Marte s-a mișcat în sensul de mișcare al acelor unui ceasornic. În punctul S_V a avut loc *stația vestică* în care s-a produs trecerea de la mișcarea retrogradă la mișcarea directă (vest-est). În punctul M_2 planeta s-a găsit în jurul datei de 1 martie 1961.

Pentru explicarea mișcărilor aparente ale planetelor, astronomii din antichitate și-au imaginat un sistem planetar geocentric. În conformitate cu acesta, în centru s-ar găsi Pămîntul în jurul căruia s-ar mișca toate celelalte planete printre care erau incluse și Luna și Soarele. Dar, după cum se știe, cu toate complicațiile sale, sistemul geocentric nu a putut stabili legătura dintre aparență și realitate. De aceea, la începutul secolului al 16-lea al erei noastre s-a adoptat *sistemul heliocentric* care s-a impus în urma argumentelor aduse de cunoscutul astronom polonez N. Copernic. În cadrul acestui sistem Soarele este corpul central, iar planetele, printre care și Pămîntul, se mișcă în jurul Soarelui, mișcarea respectivă fiind guvernată de legile lui Kepler. În fig. 3.4. este reprodusă schematic structura sistemului heliocentric, pătratul din dreapta reprezentînd Soarele și orbitele planetelor pînă la Marte inclusiv; în partea stîngă avem pătrățelul respectiv urmat de orbitele celorlalte planete. Prin urmare, în sistemul heliocentric putem distinge *planete interioare* care au orbitele situate în interiorul orbitei terestre, Mercur și Venus, și *pla-*

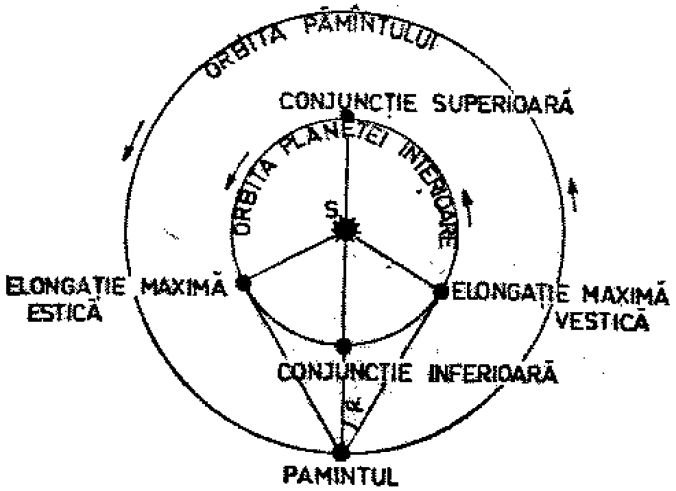


3.4. Structura heliocentrică a sistemului solar.

nete exterioare ale căror orbite sînt dispuse dincolo de orbita Pămîntului: Marte, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun și Pluto.

Figura 3.5. reprezintă orbita unei planete interioare în jurul Soarelui, S. Aici, pentru simplificare, am considerat orbita planetei fiind coplanară cu orbita Pămîntului.

Cînd planeta se găsește între Soare și Pămînt avem poziția numită *conjuncție inferioară*, în timp ce la *conjuncția superioară* Soarele se găsește între planeta interioară și Pămînt.

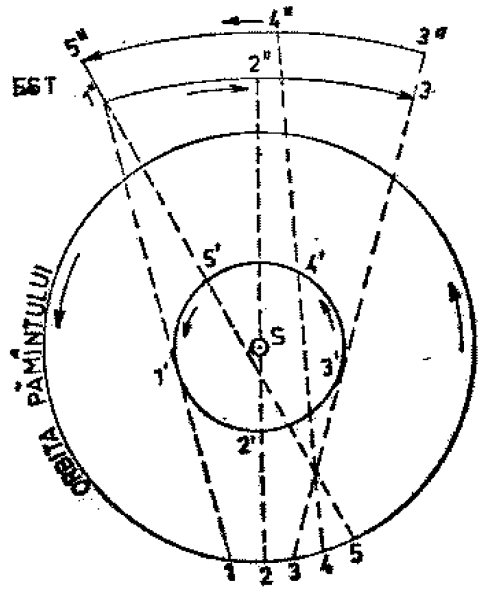


3.5. Puncte caracteristice pe orbita unei planete interioare.

În mișcarea sa de revoluție în jurul Soarelui, planeta interioară, la un moment dat, se va găsi într-o poziție particulară față de Soare și Pămînt. În acest moment unghiul α — *unghiul de elongație* — atinge valoarea maximă, putînd avea loc *elongația maximă estică* și *elongația maximă vestică*. În cazul planetei Venus unghiul de elongație maximă are valoarea de 48°, în timp ce pentru planeta Mercur $17° \leqslant \alpha \leqslant 28°$.

Mișcarea aparentă a unei planete interioare se explică cu ajutorul desenului din fig. 3.6. pe care am considerat cinci poziții succesive ale Pămîntului pe orbita sa.

Să presupunem că începem urmărirea mișcării aparente a unei planete interioare în momentul în care ea se află în punctul 1', iar Pămîntul în 1. Pe sfera cerească observatorul terestru vede planeta respectivă proiectată în punctul 1''. Apoi, după un interval de timp, în conformitate cu legile lui Kepler, Pămîntul se va găsi în 2, planeta în 2' iar proiecția ei în 2''. De aici rezultă că, pe bolta cerească, în mod aparent, planeta interioară se mișcă în sens retrograd de la est spre vest pînă cînd Pămîntul ajunge în 3, planeta în 3' și proiecția ei în 3'' — elongația maximă vestică.



3.6. Explicarea mișcării aparente a unei planete interioare.

În intervalul de timp în care Pămîntul trece din 1 în 2, observatorul terestru vede Soarele apunînd mai repede decît planeta. Aceasta din urmă mai strălucește pe bolta cerească ca un „Luceafăr de seară", dar pe măsură ce Pămîntul se apropie de punctul 2 (vezi fig. 3.6), planeta se apropie de 2' ceea ce înseamnă că, pe bolta cerească, planeta se apropie de Soare. În punctele 2, 2' și 2'' avem conjuncția inferioară după care planeta respectivă „o ia înaintea Soarelui" și răsare tot mai repede decît Soarele, fiind vizibilă dimineața în zori ca „Luceafăr de dimineață", pînă la elongația maximă vestică, care corespunde cu pozițiile 3, 3' și 3''. Apoi, planeta își modifică sensul mișcării aparente, de aici înainte mișcîndu-se de la vest spre est. Așadar, aparent, o planetă interioară este observată ca efectuînd o mișcare de oscilație în vecinătatea Soarelui.

Planetele interioare se pot observa în cele mai bune condiții atunci cînd se găsesc la depărtarea aparentă maximă față de Soare — în punctele de elongație maximă. Momentele unor astfel de poziții sînt comunicate, pentru fiecare an, în anuarele astronomice.

În cazul în care astronomul amator dispune de o lunetă bună, el ar putea observa relieful planetei Mercur. Eventual, ar putea determina intervalul de timp după care în cîmpul lunetei apar aceleași formațiuni de relief. Comparația dintre relieful planetei Mercur și cel al Lunii sau al planetei Marte ar fi deosebit de instructivă.

Avînd în vedere faptul că planetele nu au lumină proprie, ele putînd fi observate datorită luminii solare pe care o reflectă, la planetele interioare se observă efectul de fază, aceste faze fiind asemănătoare cu fazele Lunii (vezi fig. 3.14), situații în care observatorul terestru vede numai o fracțiune din suprafața iluminată de Soare.

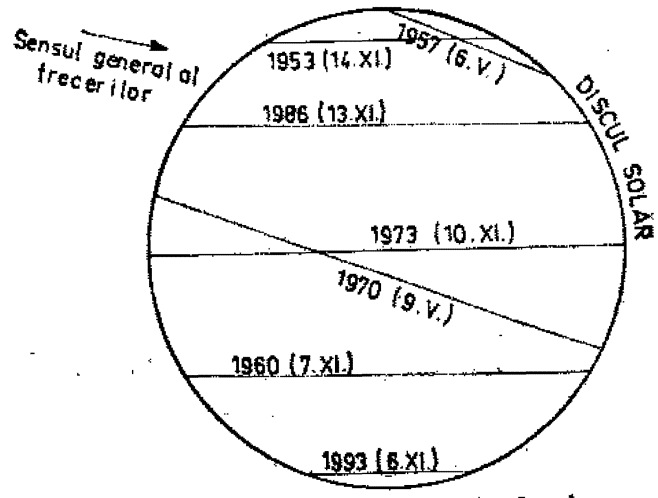
Fazele planetei Venus se pot observa bine în cadrul cercurilor de astronomi amatori, pe cînd fazele planetei Mercur se observă ceva mai greu, dar spectacolul este la fel de interesant.

Un fenomen important care este legat de planetele interioare și pe care-l pot urmări astronomii amatori este „trecerea" acestor planete peste discul solar. Desfășurarea fenomenului este ușor de înțeles dacă revenim la fig. 3.5. Într-adevăr, dacă orbita Pămîntului și cea a planetei interioare ar fi coplanare, la fiecare conjuncție inferioară, observatorul

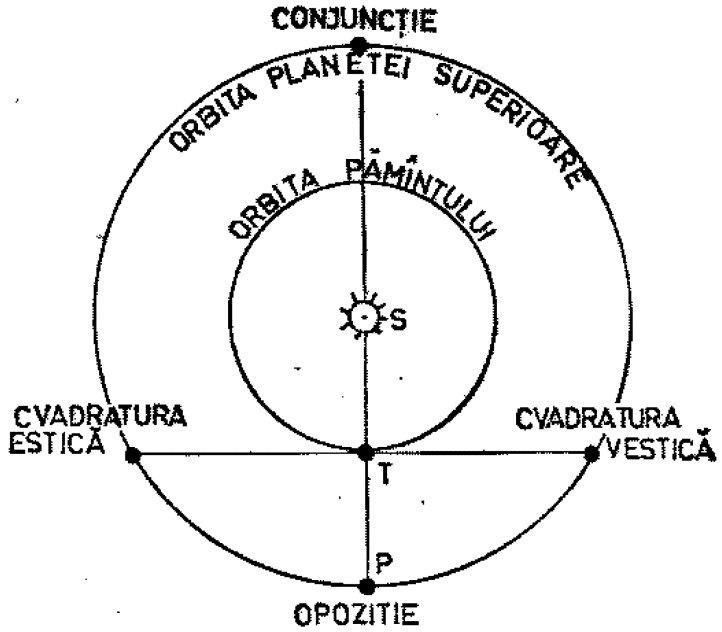
terestru ar vedea planeta ca un punct întunecat care se deplasează peste discul solar de la est spre vest. Dar orbitele respective nefiind coplanare, un astfel de fenomen se observă mult mai rar, condiția de vizibilitate fiind determinată de pozițiile reciproce pe care le au planetele la diferite epoci. În anuarele astronomice se indică și astfel de fenomene, în fig. 3.7 fiind schițate trecerile planetei Mercur, în timp ce pentru planeta Venus cele mai apropiate treceri vor avea loc la 8 iunie în anul 2004 și 6 iunie din anul 2012.

Determinarea momentelor exacte ale începutului și sfîrșitului trecerilor planetelor peste discul solar poate constitui un mijloc practic pentru verificarea complicatelor teorii din mecanica cerească. Iată de ce, alături de observarea contemplativă a unui fenomen astronomic, notarea precisă a timpului este de mare importanță.

Dacă urmărim punctele caracteristice de pe orbita unei planete exterioare din fig. 3.8. vedem că la *opoziție* planeta exterioară are distanța minimă față de observator. Dar, în cazul unei orbite excentrice, această distanță minimă este și ea variabilă, se schimbă de la o opoziție la alta. De aceea, s-a introdus noțiunea de *opoziție mare* atunci cînd depărtarea Pămînt — planetă este cea mai mică posibilă. Dacă ne-am referi la o valoare medie a distanțelor minime, am avea de-a face cu o *opoziție medie.*



3.7. Trecerile lui Mercur peste discul solar.



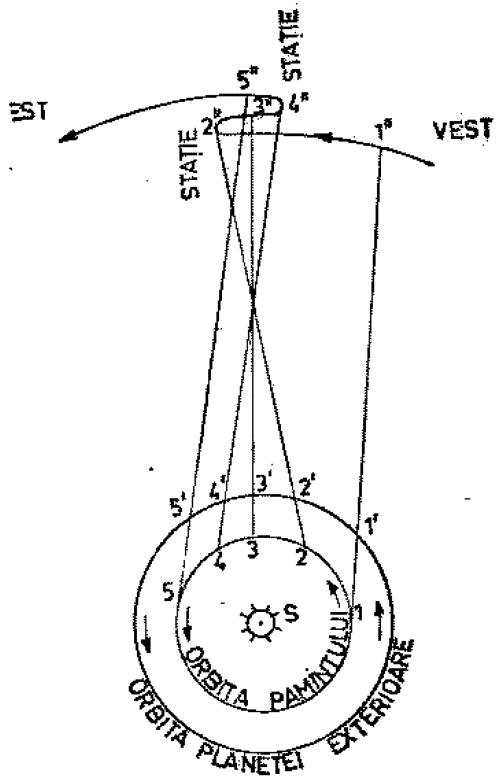
3.8. Puncte caracteristice pe orbita unei planete exterioare.

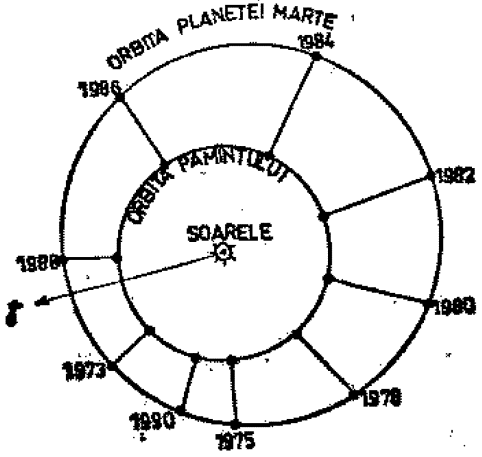
În figura 3.3. a fost descrisă mișcarea aparentă a unei planete exterioare (Marte), iar în fig. 3.9 sînt date explicațiile respective, aceste explicații fiind analoage cu cele arătate în fig. 3.5.

Dintre fenomenele mai importante pe care astronomii amatori le pot urmări la planetele exterioare amintim aici cîteva:

La planeta *Marte* se poate observa discul aparent și calotele polare. Cu un instrument mai puternic s-ar putea urmări variația dimensiunilor calotelor și legarea ei de periodicitatea anotimpurilor marțiene. În cazul acestei planete observațiile la marile opoziții sînt deosebit de importante, de aceea în fig. 3.10 am prezentat opozițiile din 1973 și pînă în 1990. De aici se vede că în 1988 va avea loc una dintre cele mai mari opoziții; atunci planeta Marte se va găsi față de Pămînt la numai 56 milioane kilometri. Această opoziție va oferi condiții optime de vizibilitate.

3.9. Explicarea mișcării aparente a unei planete exterioare.





3.10. Opozițiile planetei Marte.

Cu o lunetă bună se pot observa detalii ale reliefului planetei Marte și se poate redetermina perioada de rotație axială care este de numai $24^h37^m23^s$.

Cu ochiul liber, pe bolta cerească, planeta Marte se vede ca o stea de magnitudine aparentă $m = -2$ la opoziția medie. Are doi sateliți, Phobos și Deimos, care au magnitudinile aparente $m = 12$ și respectiv $m = 13$.

În trecut, planeta Marte era bănuită a fi cea de-a doua planetă din sistemul solar care, alături de Pămînt, ar dispune de condiții favorabile pentru existența vieții. Și acest fapt a stimulat efectuarea unor lungi serii de observații, atît din partea astronomilor profesioniști, cît și a astronomilor amatori. Au fost notate și supravegheate cele mai mici detalii ale suprafeței marțiene în speranța descoperirii unor modificări, a unor variații care să trădeze prezența vieții pe această planetă. În anul 1877, Giovanni Virginio Schiaparelli (1835 — 1910) a observat niște detalii geometrice pe care le-a considerat că ar fi canale săpate de ființe inteligente „existente" pe această planetă. Ulterior, „canalele" au fost urmărite cu interes deosebit, fapt care a dus la adunarea unui vast material observațional. Astăzi se știe că celebrele canale de pe Marte nu sînt altceva decît „fire de pete" a căror aliniere rămîne însă o enigmă. După fotografiile luate de sondele spațiale, ele sînt un șir de cratere aliniate, provenind probabil dintr-o erupție internă a planetei.

A doua planetă exterioară, în ordinea depărtării de Soare, este *Jupiter*, care poate fi observată cu ochiul liber ca o stea galbenă de magnitudine $m = -2{,}6$, această mărime corespunzînd unei opoziții mijlocii. Mișcarea aparentă este asemănătoare cu aceea a planetei Marte.

După cum se știe, Jupiter este cea mai masivă planetă din sistemul solar, are masa egală cu circa 317,8 mase terestre. Are cel mai mare număr de sateliți cunoscuți, cel de-al 15-lea satelit fiind descoperit în anul 1979, problema numerotării și confirmării descoperirilor de sateliți ai acestei planete fiind în curs de discuție la nivel mondial.

Dintre sateliții lui Jupiter, primii patru au fost descoperiți de către Galileo Galilei (1564 — 1642) în anul 1610, imediat după ce el a îndreptat spre cer luneta care a adus date deosebit de interesante. De aceea, ei au fost numiți sateliți galileeni și pot fi observați cu ajutorul unui binoclu; ceilalți

sateliți fiind mult mai mici și mai puțin strălucitori, se pot vedea numai prin lunete ceva mai mari.

Sateliții galileeni au primit nume proprii și, în același timp, sînt numerotați și cu numerele romane în ordinea depărtării lor de la planetă: I (Io), II(Europa), III (Ganymede) și IV (Callisto). Orbitele acestor sateliți sînt aproape circulare și sînt cuprinse în planul ecuatorial al planetei Jupiter, perioadele lor fiind cuprinse între 2 și 17 zile. Cercetările din ultimul timp au arătat că pe satelitul I(Io) există activitate vulcanică.

Satelitul Ganymede este destul de strălucitor și ar putea fi văzut cu ochiul liber dacă nu s-ar afla prea aproape de planetă. Ganymede are culoare portocalie, pe cînd ceilalți sînt galbeni ca și Luna.

La planeta Jupiter, astronomul amator poate observa discul aparent, un disc brăzdat de benzi aproape paralele, diametrul aparent variind între 50″ la opoziție și 30″ la conjuncție. Alături de benzi, pe suprafața planetei uriașe se poate observa o pată ovală de culoare mai roșietică, fapt pentru care ea se numește *pata roșie*. Această pată a fost cunoscută cu mai bine de 300 ani în urmă, iar observații precise asupra ei au fost efectuate încă din anul 1879, în 1880 fiind determinate dimensiunile respective de 13 000 și 38 500 kilometri.

De asemenea, pozițiile relative ale celor patru sateliți galileeni prezintă o priveliște deosebit de instructivă și recreativă pentru un observator, indiferent dacă el este profesionist sau amator.

Următoarea planetă exterioară, în ordinea depărtării de la Soare, este *Saturn* sau planeta cu inele. Ea este urmărită cu mult interes de către astronomii amatori și se prezintă ca o adevărată capodoperă a naturii. De altfel, în ultimul timp s-a constatat că și alte planete au inele, în anul 1977 fiind descoperite inele în jurul planetei Uranus și foarte probabil că și Jupiter este înconjurat de inele. Cu alte cuvinte, s-ar părea că inelele în jurul unei planete sînt mai curînd o regulă decît o excepție, se pare că și Pămîntul ar fi avut, cîndva, un inel. Cu toate acestea, prin frumusețea sa, planeta Saturn rămîne cel mai atrăgător obiect din sistemul solar. La opoziția medie are magnitudinea aparentă $m = 0{,}67$.

Deoarece sistemul de inele se află în planul ecuatorial al planetei, observatorul terestru vede acest aspect modificîn-

du-se cu o perioadă de aproximativ 14 ani, cunoașterea acestei perioade fiind de mare importanță pentru prognoza vizibilității optime a acestei planete.

Cercetările din anii 1980—1981 au scos în evidență faptul că, în privința numărului de sateliți naturali, planeta Saturn rivalizează cu Jupiter.

În fine, ochiul observatorului se poate delecta cu observarea celorlalte planete exterioare: Uranus ($m = 5.00$), care a fost descoperit vizual în 1781 de către William Herschel, recent fiind observate inele în jurul acestei planete; Neptun ($m = 7{,}87$) descoperit teoretic de către LeVerrier (1811—1877) și observată la Berlin de J.G. Galle (1812—1910) la 23 septembrie 1846; în timp ce planeta Pluto ($m = 14{,}9$), descoperită teoretic de către P. Lowell în 1915 și observată abia în 1930, este mai greu de observat în cadrul cercurilor de astronomi amatori.

Pentru o privire de ansamblu asupra celor 9 planete mari ale sistemului solar, am întocmit tabelul 3.2 în care sînt reproduse cele mai importante caracteristici. În prima coloană se află numele planetei, în coloana a 2-a se află depărtarea medie de la Soare, d, exprimată în unități astronomice. Coloanele 3 și 4 conțin perioada sinodică exprimată în zile mijlocii și respectiv perioada siderală exprimată în ani julieni.

Razele planetelor sînt exprimate în kilometri, iar masele sînt date în mase terestre. Densitatea, ρ, este exprimată în g/cm^3. Pentru numărul de sateliți sînt date valorile cunoscute în anul 1982, pentru planetele Jupiter și Saturn problema numărului sateliților și a denumirii lor fiind în discuția unei comisii internaționale. În fine, ultima coloană conține magnitudinile aparente corespunzătoare, pentru planetele Mercur și Venus fiind date magnitudinile maxime, iar pentru planetele exterioare sînt reproduse magnitudinile aparente la opoziția mijlocie. Datele pentru planeta Pluto sînt încă îndoielnice.

În tabelul 3.2 sînt introduse noțiunile de perioadă sinodică și siderală a căror semnificație nu a fost definită, fapt pentru care dăm aici definițiile lor. Se numește *perioadă sinodică* intervalul de timp dintre două conjuncții succesive și de același fel, acest interval de timp putînd fi determinat pe cale observațională.

TABELUL 3.2.

Planetele mari din sistemul solar

Planeta	d	P_{sin}	P_{sid}	Raza	Masa	ρ	Număr de sateliți	m
Mercur	0,387	116	0,24	2 420	0,055	5,1	—	—0,4
Venus	0,723	584	0,62	6 052	0,817	5,0	—	—4,3
Pămîntul	1,000	—	1,00	6 378	1,000	5,5	1	—
Marte	1,524	780	1,88	3 392	0,108	3,94	2	—2,0
Jupiter	5,204	399	11,86	71 400	318,36	1,33	>15	—2,6
Saturn	9,578	378	29,46	60 000	95,22	0,69	>15	+0,67
Uranus	19 ,24	370	84,01	25 400	14,58	1,60	5	+5,5
Neptun	30 ,04	367	164,79	24 300	17,26	2,25	2	+7,8
Pluto	39 ,77	366	247,68	1 500?	0,002	1,00	1	+14,9
					0,912			

Perioada siderală este definită ca intervalul de timp în care raza vectoare (direcția Soare-planetă) a unei planete „mătură" 360°.

Între perioada siderală P_{sid}, perioada sinodică, P_{sin} și anul terestru, P_T, există relația

$$\frac{1}{P_{sid}} = \frac{1}{P_{sin}} + \frac{1}{P_T};$$

pentru planetele interioare și

$$\frac{1}{P_{sid}} = \frac{1}{P_{sin}} - \frac{1}{P_T}$$

pentru planetele exterioare.

După cum am văzut, cele 9 planete mari ale sistemului solar se mișcă pe orbite eliptice pe care, în conformitate cu cea de-a treia lege a lui Kepler, le parcurg în timpuri diferite. Din această cauză, uneori, două sau mai multe planete se proiectează în direcții foarte apropiate pe bolta cerească.

Cînd planetele sînt astfel distribuite în spațiu încît pozițiile lor determină o „linie dreaptă", care să treacă prin Soare, este vorba de *alinierea* corpurilor respective. Aici expresia „o linie dreaptă" este pusă în ghilimele deoarece este vorba de o aliniere aproximativă.

În cazul cînd pozițiile planetelor se situează pe „o linie dreaptă", dar se găsesc și de aceeași parte a Soarelui, avem de-a face cu o *apropiere*, distanțele reciproce fiind minime.

Pentru astronomii amatori, apropierea planetelor constituie un prilej pentru interesante observații, chiar și atunci cînd ne referim la o apropiere „parțială", adică și atunci cînd numai cîteva dintre planete se proiectează într-o regiune restrînsă a bolții cerești. Este vorba de unele configurații interesante ale planetelor din sistemul solar.

Dacă astronomul amator dispune de un anuar astronomic, programarea observațiilor pentru cele mai interesante configurații ale planetelor este relativ ușoară. În acest scop, utilizînd anuarul astronomic, dispunem de coordonatele ecuatoriale ale corpurilor respective iar proiectarea pozițiilor corespunzătoare pe un atlas stelar ne arată despre ce fel de configurații este vorba. O apropiere interesantă a planetelor a avut loc în anul 1982.

Din examinarea datelor din coloana a 2-a a tabelului 3.2 se vede că distanțele planetelor de la Soare au o tendință de creștere armonică. Există însă o excepție între Marte și Jupiter unde, mult timp, a fost bănuită existența unei planete necunoscute. Astăzi se cunosc peste 2 000 obiecte care au orbitele cuprinse între orbita planetei Marte și orbita lui Jupiter. Este vorba de un număr mare de planete mici al căror aspect, în cîmpul lunetei, este asemănător cu acela al stelelor, de aici denumirea de *asteroizi*. Dar, deoarece aceste obiecte au strălucire mică, pentru astronomii amatori nu sînt destul de captivante. Ele joacă un rol deosebit de mare în problemele de strictă specialitate iar un amator ar putea efectua observații utile numai sub îndrumarea directă a unui colectiv de la observatoarele astronomice.

3.3 Astronomul amator în cîntarea cometelor [14], [17], [18], [21], [35]

În paragrafele precedente ne-am referit la condițiile de vizibilitate și am presupus că ne aflăm într-o noapte senină și fără Lună, condiții care ne-au permis să facem cunoștință cu delimitarea constelațiilor și observarea unor stele foarte slabe. Dar, în afară de stele și planete, pe bolta cerească mai putem observa o fîșie albicioasă numită *Calea Lactee* care are aspectul unui brîu suprapus peste bolta cerească, precum și alte obiecte cu aspect nebular. De aceea, pentru probleme de orientare pe bolta cerească, în cataloage speciale au fost înregistrate obiecte cu aspect nebular, unul dintre primele cataloage de acest fel fiind întocmit în anul 1784 de către astronomul francez Charles J. Messier (1730 — 1817). În acest catalog, care conține aproape 100 obiecte nebulare, obiectul nr. 1 era o pată luminoasă din constelația Taurus cunoscută astăzi sub denumirea de Nebuloasa Crab și este notată Messier 1 sau M-1; roiul din costelația Hercules este notat M-13, iar „Marea Nebuloasă" din Andromeda are notația M-31. Vom reveni asupra caracteristicilor unor astfel de corpuri.

Cu timpul au fost efectuate noi descoperiri, fapt care a dus la întocmirea unui alt catalog mai cuprinzător al obiectelor nebulare. Este vorba de catalogul lui J.L. Dreyer (astronom irlandez), publicat în anul 1888. Acesta este cunos-

cut sub denumirea de „New General Catalogue" și conține 7 840 obiecte, Nebuloasa Crab avînd notația NGC—1952, iar roiul din Hercules este NGC—6205 etc. Ulterior (1895 și 1908) au fost publicate două suplimente ale catalogului NGC cunoscute sub denumirea „Index-Catalogue" (IC), care mai conțineau cîteva mii de obiecte cu aspect nebular.

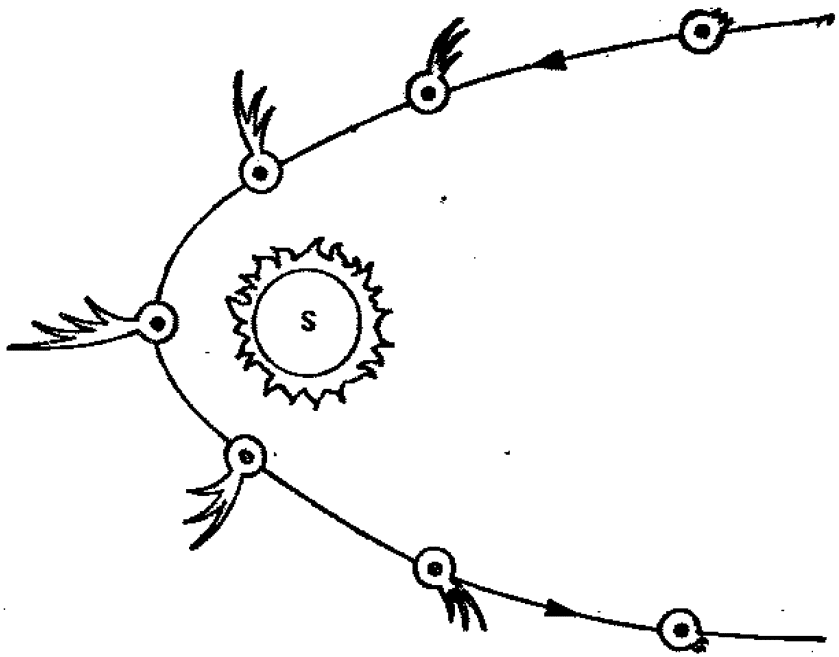
Observarea îndelungată, de repetate ori, a bolții cerești a arătat că obiectele cu aspect nebular, pe care le-am enunțat mai sus, își păstrau pozițiile aparent fixe în raport cu stelele din constelația respectivă. De aceea, apariția unor obiecte noi cu aspect nebular, care se deplasau printre stelele de pe bolta cerească, era un fapt curios. Era vorba despre comete la studiul cărora astronomii amatori au adus și încă mai aduc contribuții deosebit de valoroase.

Cometele fac parte din acea categorie de corpuri cerești care, prin aspectul lor curios și apariția lor neașteptată, au uimit omenirea. În plus, ele reprezintă acea grupă de obiecte despre care se cunosc destul de puține lucruri, prezentînd încă o serie de enigme. De aceea, interesul general față de apariția și dispariția cometelor, precum și necesitatea de a explica anumite fenomene cometare, au făcut din ele una dintre cele mai cercetate categorii de corpuri cerești.

La început cometa apare pe bolta cerească ca o pată cețoasă asemănătoare cu obiectele nebulare amintite mai sus. Prima caracteristică prin care cometa își trădează natura sa este mișcarea aparentă printre stelele de pe boltă cerească. De altfel, consultarea cataloagelor cu obiecte nebulare indică imediat dacă este vorba de o nebuloasă cunoscută sau avem de-a face cu un obiect nou descoperit care poate fi o cometă. O descoperire de acest fel poate fi confirmată și prin consultarea atlaselor stelare pe care sînt trecute și obiectele nebulare mai strălucitoare.

În momentul în care cometa poate fi observată, ea se găsește la o depărtare de circa 2—3 unități astronomice (vezi fig. 3.11). Aici, aspectul cometei este nebular și fără un contur bine determinat. Din cauza strălucirii slabe pe care o are la această distanță, cometa poate fi observată numai cu ajutorul lunetelor și telescoapelor. Ea este încă un obiect telescopic.

Pe măsură ce cometa se apropie de Soare și deci și de Pămînt, strălucirea ei devine din ce în ce mai mare și încep



3.11. Reprezentarea schematică a evoluției unei comete.

să se distingă detaliile care caracterizează cometa în general.

a) Partea centrală a cometei, care constă dintr-un simbure luminos, se numește *nucleu*. El este compus din roci, gaze și metale în blocuri, acestea din urmă menținîndu-se legate între ele prin atracția lor mutuală. În general, dimensiunile sînt de ordinul cîtorva sute de metri sau maximum de cîțiva kilometri.

b) Norul cețos care înconjură nucleul se numește *coamă*. Aceasta are un aspect luminos și este alcătuită din gaz la o presiune foarte scăzută. Diametrul coamei variază între 50 000 și 100 000 kilometri.

c) Cînd cometa se apropie și mai mult de Soare, din nucleul ei țîșnesc niște fișii luminoase dar scurte care sînt numite *efluvii*. Acestea sînt orientate spre Soare.

d) La limita dinspre Soare a efluviilor se află așa-numitul *înveliș al cometei*.

Nucleul, coama, efluviile și învelișul constituie *capul cometei*. Cînd cometa trece prin dreptul stelelor de pe boltă cerească ele se pot vedea licărind în capul cometei cu excepția nucleului, acesta din urmă fiind singura componentă opacă. Cînd nucleul cometei trece în dreptul unei stele, aceasta nu se mai vede, fiind ocultată — ecranată de către cometă.

e) Pe măsură ce cometa se apropie de Soare, efluviile se întind mai mult în direcția opusă Soarelui, formînd astfel una sau mai multe cozi luminoase. Prin urmare, coada unei comete este o excrescență de gaze și pulberi care poate fi de 8 000 pînă la 10 000 miliarde de ori mai puțin densă decît atmosfera terestră la nivelul mării.

Cu rare excepții, coada cometei se dezvoltă în direcția opusă Soarelui. Prin urmare, cînd cometa se apropie de Soare, coada rămîne în urma sa, dar după ce a trecut prin periheliu (distanța cea mai mică față de Soare) coada cometei o ia înaintea capului pe traiectorie, fiind mereu respinsă de presiunea radiației solare (vezi fig. 3.11).

La un număr mic de comete, pe lîngă cozile descrise mai sus apar și cozi scurte orientate spre Soare — cozi *anomale*.

Unele comete au cozi imense, cometa Halley (1910), de pildă, avea o coadă de 110 milioane km. Marea Cometă a anului 1843 avea coada lungă de 320 milioane km, adică era mult mai mare decît raza orbitei terestre (unitatea astronomică).

După forma lor, cozile cometelor sînt rectilinii ori mai mult sau mai puțin curbate. Ele pot fi simple sau multiple.

Atîta vreme cît cometele erau observate numai cu ochiul liber, numărul lor era destul de mic. De aceea, se putea vorbi despre o cometă ca despre cometa anului în care ea a fost observată. Astfel, cometa observată de Tycho Brahe, în anul 1577, se numește cometa anului 1577.

După inventarea lunetei astronomice[1], puterea de pătrundere a crescut foarte mult. Utilizările telescopului au mărit numărul de comete observate într-un singur an. Prin aceasta a devenit inutilizabilă denumirea cometei în modul amintit mai sus, în același an putînd fi observate mai multe comete.

[1] Primul om care a observat o cometă prin lunetă a fost Johann B. Cysat, fiul unui funcționar din Lucerna (Elveția), aici fiind vorba de cometa anului 1618.

Pentru a putea face distincție între diferite comete observate într-un anumit an, s-a stabilit ca prima cometă descoperită în anul respectiv să fie denumită prin numărul anului urmat de litera *a*, cea de a doua cometă să fie denumită tot cu numărul anului, dar urmat de litera *b* etc. Această notație rămîne valabilă pînă cînd sînt adunate toate observațiile existente (se calculează orbita și se determină, pentru fiecare cometă, momentul trecerii prin periheliul orbitei sale). Apoi se trece la notația definitivă, în care se ține seamă de ordinea trecerii prin periheliu în anul respectiv. Astfel, cometa descoperită la 8.XI. 1956 de către Arend și Roland a fost a treia cometă care a trecut prin periheliu în anul 1957. De aceea, ea a primit notația definitivă *Cometa 1957 III*. În literatura de specialitate se mai găsesc și alte moduri de a denumi o cometă, cum ar fi cea dată după numele descoperitorului, de exemplu, Cometa Arend-Roland.

Datorită strălucirii mari pe care o au anumite comete, ele au putut fi observate cu ochiul liber, iar înfățișarea curioasă a acestora a atras atenția omului încă din cele mai vechi timpuri. Se cunosc observații de comete din secolul al cincilea dinaintea erei noastre. Relatări despre astfel de observații se găsesc în mod frecvent în cronicile chineze. Numai Cometa Halley are peste 30 de astfel de descrieri. Cu toate acestea, bazele științifice ale prevederii reîntoarcerii cometelor datează doar din anul 1695, cînd tînărul astronom englez (în vîrstă de numai 24 ani) Edmond Halley se interesează de cometa anului 1682.

Datorită strălucirii sale puternice, cometa anului 1680 a fost observată cu mult timp înaintea trecerii sale prin periheliu. În acest mod, ea a putut fi urmărită apropiindu-se de Soare, unde s-a pierdut în razele strălucitoare ale acestuia. După numai cîteva zile, ea a apărut din nou, dar de data aceasta fiind situată de partea cealaltă a Soarelui. Evident, atunci au apărut o serie de discuții cu privire la faptul dacă este vorba de o singură cometă sau dacă erau două comete, cîte una de fiecare parte a Soarelui.

Apariția cometei din anul 1682 a ridicat probleme asemănătoare cu cele legate de cometa anului 1680. De aceea, în anul 1695, E. Halley și-a propus să calculeze orbita cometei anului 1682 și, spre surprinderea generală, s-a dovedit că era vorba de o singură cometă de ambele părți ale Soarelui. În plus, s-a constat că această cometă a mai fost obser-

vată în anii 1607, 1531 și 1456. De aici, comparînd datele observaționale cu pozițiile calculate, Halley trage concluzia asupra posibilității de a prevedea data cînd cometa respectivă va reveni iarăși. În acest mod Halley a prevăzut că această cometă (a anului 1682) se va reîntoarce în anul 1758.

Halley moare în anul 1742 în vîrstă de 86 ani și nu poate să observe cometa care a venit la întîlnirea „fixată" pentru decembrie 1758.

Din analiza datelor folosite de Halley a rezultat natura eliptică a orbitei. Elipsele „cometelor" din anii 1607, 1531, 1456 și 1682 erau aproape identice, în limitele erorilor de observație.

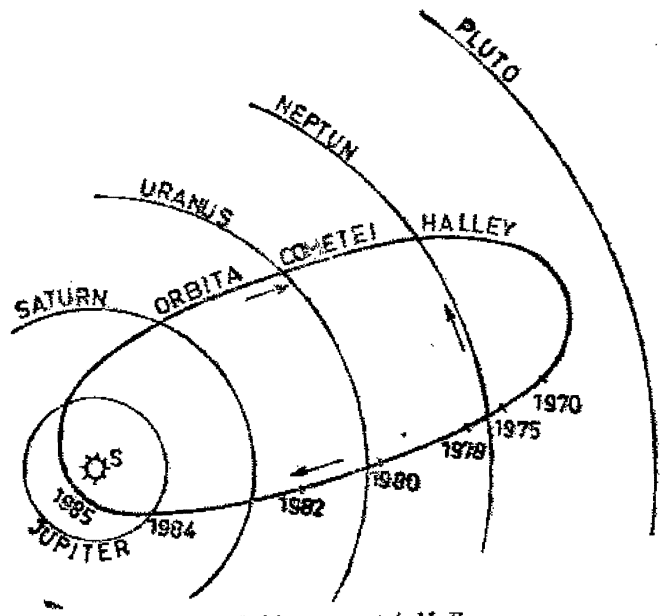
Datorită succesului pe care l-a avut teoria matematică a mișcării cometelor, cometa care a venit la întîlnirea „fixată" de Halley a primit numele acestuia. Sub denumirea de Cometa Halley este cunoscută și în zilele noastre; ea se mișcă în jurul Soarelui cu perioada de 76-77 ani. Cometa Halley s-a reîntors în anul 1758, în anii 1835 și 1910. Acum este așteptată să revină în anul 1986, întorcerea ei urmînd a fi observată de către toți aceia care se interesează de fenomenele astronomice. În plus, reapariția acestei comete va fi salutată de mai multe nave cosmice care o vor observa cu cele mai moderne aparate.

În fig. 3.12 este schițată orbita cometei Halley alături de orbitele planetelor: Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun și Pluto. De aici se vede că în anul 1982, Cometa Halley se găsea în apropiere de orbita planetei Saturn.

Comparînd teoria matematică a lui Halley cu privire la mișcarea cometelor și datelor observaționale existente, s-a constatat că această cometă a mai fost observată și în secolele precedente. Se pare că ea a fost văzută în anul 476 î.e.n. de către chinezi și sigur a fost urmărită în anul 239 î.e.n.

Din aplicarea metodelor de cercetare ale lui Halley, s-a constatat că există mai multe comete periodice. Acestea trec de mai multe ori prin periheliu; cometa cu cea mai scurtă perioadă este Cometa Encke, perioada acesteia fiind P = 3,3 ani.

Înaintea lui Halley cometele erau pentru toată lumea un fel de „prevestitori" ai cerului, de apariția lor fiind legate anumite evenimente sociale bune sau rele; abia după cercetările întreprinse de Halley și explicarea fenomenului, apari-



3.12. Orbita cometei Halley.

ția cometelor a devenit un aspect astronomic, iar presupunerile și credințele au fost înlăturate.

În istoria astronomiei este deseori reamintită soarta „tragică" a cometei Biela, fapt pentru care redăm și noi aici cîteva amănunte legate de aceasta.

La începutul secolului al 19-lea, la Praga, trăia un oarecare Joseph Morstadt, care era funcționar austriac și care obișnuia să-și petrecă serile libere în observatorul său particular. Acest Morstadt era prieten cu baronul Wilhelm von Biela, căpitan în armata austriacă și astronom pasionat. Morstadt îl informează pe Biela despre necesitatea observării cometelor, astfel Biela, însoțit de soldații din garnizoana sa, a început ca, în mai multe seri succesive, să caute comete, uneori observațiile fiind efectuate și dimineața în zori. În urma unor astfel de „patrulări", în anul 1826, Biela descoperă o cometă care a rămas celebră sub denumirea de *Cometa Biela*.

Ulterior s-a constat că această „nouă" cometă mai fusese observată prin apropierea Soarelui în anii 1772, și 1805, fapt care a permis să i se determine parametrii orbitali și

să se prevadă noile treceri prin vecinătatea Soarelui. Astfel, ea a fost urmărită din timp la trecerea din anul 1832, pe cînd la trecerea din 1839 nu a putut fi urmărită, deoarece ea era pe bolta cerească în timpul zilei (în Europa).

La revenirea din 1846, Cometa Biela era însoțită de o pată luminoasă care, ulterior, s-a dezvoltat, formînd o a doua cometă. Cu aproximativ 30 zile înaintea trecerii prin periheliul orbitei sale, Cometa Biela era deja alcătuită din două componente. La două luni după trecerea prin periheliu, distanța dintre cele două componente era de 300 000 km.

La revenirea din anul 1852, ambele componente ale Cometei Biela erau observabile, dar distanța dintre ele ajunsese la circa 2,5 milioane kilometri.

Reîntoarcerea din 1859 nu a fost favorabilă pentru observatorii din Europa, dar în 1866, deși existau condiții bune de observații și se dispunea de o efemeridă corectă, această cometă nu a mai fost observată. S-a emis ipoteza dispariției Cometei Biela.

Pentru anul 1872 s-a calculat o efemeridă bună și au fost mobilizați atît astronomii profesioniști, cît și cei amatori pentru întîmpinarea rămășițelor celebrei Comete Biela. Și, într-adevăr, la locul întîlnirii cu Cometa Biela, în poziția corespunzătoare, s-a observat o foarte frumoasă „ploaie de stele". La Moncalieri în Italia, patru persoane au văzut 33 400 meteori în timp de 6,5 ore. La Göttingen, în Germania, au fost observați peste șapte mii de meteori în mai puțin de 3 ore.

Astăzi se știe că așa-numitele Andromedide sînt rămășițe ale Cometei Biela, astfel de legături fiind cunoscute și între alte comete și roiuri de meteori. De altfel, legătura dintre unele comete și meteori poate fi urmărită și în *tabelul* 3.1.

În zilele noastre se știe că „aștrii cu coadă" — cometele — sînt obiecte cosmice care se mișcă în jurul Soarelui, în compoziția lor intrînd: cianogenul, molecule de carbon biatomic (C_2) și diferite hidrocarburi. Iată de ce ne putem permite să afirmăm că ele nu au nimic supranatural și nu produc influență asupra fenomenelor sociale de la suprafața Pămîntului. Așadar, putem privi cu compătimire pe toți aceia care, din lipsă de cunoștințe științifice, au încercat sentimente de frică și teamă atunci cînd au auzit de comete.

În literatură există multe scrieri prin care se răspîndea teama față de comete. Iată doar cîteva dintre acestea.

Aproape în toate vremurile, aparițiile cometelor erau considerate prevestitoare de nenorociri, războaie, molime etc; foarte rare erau cazurile în care ele „prevesteau ceva bun".

Înfrîngerea hunilor de către armatele romane în anul 451 a fost atribuită cometei care a apărut atunci, ciuma din anul 590 era considerată o consecință a apariției unei comete iar căderea Constantinopolului (1453) a fost „corelată" cu cometa anului 1456.

Numărul mare al cometelor luminoase, vizibile cu ochiul liber în secolele al XV-lea și al XVI-lea, a dus la intensificarea fricii față de aștrii cu coadă. Dar teama față de comete a ajuns la apogeu în timpul cînd a apărut tiparul, acesta din urmă contribuind la difuzarea pamfletelor scrise în legătură cu cometele respective. Așa, de exemplu, în legătură cu apariția cometei din 1527, se putea citi: „Aspectul ei era atît de groaznic, încît a băgat spaimă în suflete: unii murcau atît de frică, iar alții căzeau la pat. Era un astru de o lungime neobișnuită, avînd o culoare singerie. La baza lui se zărea o mînă, care strîngea o lungă spadă de foc, cu trei stele în vîrf. Pe ambele părți ale acestui astru înspăimîntător se puteau vedea săbii, cuțite și pumnale însîngerate, iar printre ele se iveau chipuri de oameni schimonosite de durere, avînd ochii holbați și părul vîlvoi".

Dar după ce s-a explicat natura reală a cometelor, amatorii de panică, căutînd un ultim sprijin pentru acțiunile lor alarmante au recurs la anumite speculații privind întîlnirea dintre planeta noastră și coada unei comete. Astfel, de exemplu, reîntoarcerea Cometei Halley din 1910 fiind anunțată din timp de către astronomi, ziariștii (unii) se grăbeau să anunțe poluarea atmosferei terestre ca urmare a trecerii Pămîntului prin coada cometei și, prin aceasta, sfîrșitul lumii.

Așa după cum se știe, întîlnirea anunțată a avut loc, dar sfîrșitul lumii nu s-a produs. Cu această ocazie astronomii au putut observa doar o pîlă luminoasă foarte slabă, s-a simțit o ușoară modificare în refracția atmosferică și apariția unor halouri în jurul Soarelui și Lunii. Toate acestea erau determinate de faptul că materia din coada unei comete este de milioane de ori mai rarefiată decît este atmosfera terestră la nivelul mării.

În secolul nostru au fost observate mai multe comete, teoria matematică a mișcării acestora dovedind că ele se mișcă prin sistemul solar după legile mecanicii cerești. În plus, la cometele periodice s-a pus în evidență o importantă pierdere de masă care are loc odată cu trecerea prin periheliu. Din această cauză, unele comete se dezintegrează, iar la trecerile următoare se pot observa numai rămășițele lor. Un astfel de caz am amintit cînd am vorbit despre Cometa Biela.

În cadrul cercurilor de astronomi amatori, astfel de fenomene trebuie discutate dinainte și, din timp, să se procure tehnica necesară pentru observații. De asemenea, faptul că un astfel de fenomen este predictibil (în unele cazuri), se pot aduce contribuții importante la urmărirea bolții cerești și sesizarea apariției cometelor așteptate.

Dar, așa cum am specificat mai sus, astronomii amatori, în timpul în care își satisfac plăcerea de a urmări aspectul bolții cerești, pot observa anumite comete care nu au fost anunțate anterior, pot descoperi comete noi. O descoperire de acest fel ar fi una dintre cele mai formidabile contribuții la cercetarea astronomică pe care le pot aduce acești pasionați cercetători ai cerului. Spre căutarea de noi comete sînt îndrumați toți aceia care au posibilitatea să întreprindă astfel de observații, în acest domeniu fiind obținute și pînă acum rezultate deosebite.

Atunci cînd un astronom amator constată că într-o anumită constelație a apărut un obiect nou, cu aspect nebular și care se deplasează printre stelele respective, el trebuie să noteze, cît mai exact, poziția acestuia față de stelele din jur. Eventual ar putea desena o hartă a regiunii respective cu indicația constelației și a stelelor mai luminoase, pentru fiecare poziție marcată trebuind să avem și timpul exprimat în timp universal. O observație de acest fel trebuie anunțată telefonic la cel mai apropiat Observator astronomic, un astronom de serviciu avînd grija să verifice observația respectivă și, după confirmare, s-o comunice la forul internațional care se ocupă cu difuzarea telegrafică a unor astfel de rezultate la toate observatoarele din lume. De aici înainte datele vor fi preluate de astronomii profesioniști care, prin intermediul unei aparaturi moderne, vor efectua observațiile necesare pentru cunoașterea cît mai detaliată a corpurilor de

acest fel. Pe lîngă mulțumirile aduse, cometa va purta numele celui care a descoperit-o.

În România este cunoscut cazul astronomului amator Victor Daimaca (1892-1969), care, fiind profesor de matematică la Tîrgu-Jiu, își continuă activitatea de astronom pasionat.

Cu un binoclu, Daimaca, la 3 septembrie 1943, a observat o cometă nouă la limita dintre constelațiile Lynx și Ursa Major. A fost prima cometă descoperită de către un român, fiind înregistrată la Centrul Internațional din Copenhaga sub denumirea de cometa Daimaca 1943 c. Astronomul L. Peltier (S.U.A.) a observat cometa respectivă la 19 septembrie 1943, confirmînd descoperirea lui Daimaca.

La mai puțin de 4 luni de la prima descoperire, la 16 decembrie 1943, Daimaca a găsit o a doua cometă, însă aceasta era descoperită concomitent și de astronomii Van Gent și Peltier, fapt pentru care ea s-a numit: Cometa Van Gent-Peltier-Daimaca

În ultimul timp al activității sale, Daimaca a lucrat la Observatorul Astronomic al Academiei R.P.R. din București, aici însă condițiile de vizibilitate sau „ghinionul" nu i-au mai scos în cale comete noi.

3.4 Contribuția astronomilor amatori la observarea navelor cosmice [19], [25]

După cum se constată cu ușurință, în expunerea noastră urmăm o anumită succesiune oarecum neobișnuită. Această succesiune ne-a fost dictată de condițiile în care se efectuează observațiile respective — o noapte senină și fără Lună. Iată de ce, pornind de la mișcarea aparentă a navelor cosmice pe bolta cerească, observarea lor are unele elemente comune cu observațiile expuse pînă acum în legătură cu planetele și cometele.

Prin urmare, înainte de a încheia seria de observații, care se efectuează în nopțile senine și fără Lună, să ne oprim puțin asupra observării navelor cosmice: rachete purtătoare, sateliți artificiali, nave pilotate de om, stații automate, observatoare extraatmosferice etc.

Avînd în vedere faptul că pe noi ne interesează mai mult problemele observaționale, amintim că navele cosmice sînt lansate la mari înălțimi, fapt care face ca ele, pe bolta ce-

reasca să se proiecteze ca niște puncte luminoase avînd imagini „asemănătoare" cu cele stelare. Navele cosmice nu au lumină proprie și sînt vizibile datorită luminii solare pe care o reflectă.

Pe bolta cerească, navele cosmice se deplasează ca și meteorii, dar mult mai încet; ca și planetele, dar mult mai repede. Un meteor poate fi observat doar cîteva secunde, mișcarea unei planete poate fi sesizată numai după cîteva ore sau zile, pe cînd o navă cosmică parcurge întreaga boltă cerească într-un interval de timp de ordinul zecilor de minute.

Prin urmare, pentru observatorul terestru, o navă cosmică apare ca un punct luminos care se deplasează printre stelele de pe bolta cerească. De aceea, observarea unor astfel de corpuri constă din urmărirea mișcării pe firmament.

Atunci cînd se lansează o navă cosmică se anunță momentul în care ea devine observabilă pentru observatorii situați în anumite regiuni ale suprafeței terestre. În același timp se comunică și coordonatele calculate ale navei, de exemplu, azimutul și înălțimea deasupra orizontului pentru anumite momente. Astfel de poziții se transmit la posturile de radio sau sînt publicate în presă. În plus, stațiile de observare a navelor cosmice anunță din timp condițiile de vizibilitate ale unor obiecte care prezintă interes pentru urmărirea observațională.

Așadar, observatorul amator, cunoscînd dinainte condițiile de vizibilitate, se pregătește cu un ceas (pendulă) bine reglat, o hartă a cerului, eventual un magnetofon și un ajutor — un fel de „secretar". Într-un caiet se trec următoarele date: 1) direcția și momentul la care nava a devenit vizibilă; 2) constelația în care a apărut și direcția de deplasare; 3) momentele trecerii pe lîngă anumite stele ușor de identificat; 4) gradul de strălucire în raport cu anumite stele cunoscute. Toate aceste înregistrări pot fi notate de „secretar" sau, mai nou, înregistrarea respectivă se poate efectua la un magnetofon, urmînd apoi ca toate datele să fie transcrise în caiet. Iată de ce munca în colectiv și utilizarea tehnicii moderne este de mare folos, chiar și în unele cazuri simple cum este observarea navelor cosmice pe bolta cerească.

Menționăm că în primii ani ai erei cosmice, observațiile vizuale de felul celor amintite mai sus au jucat un rol deosebit de important pe plan internațional. La noi în țară au existat stații de observare a navelor cosmice la București, Cluj și Timișoara, în cadrul acestora fiind antrenați mulți astronomi amatori, ale căror rezultate au fost pozitiv apreciate în cadrul unor conferințe internaționale. În prezent, pentru urmărirea navelor cosmice se folosesc instrumente de mare precizie și înaltă tehnicitate. Totuși mai există unele situații în care și observațiile vizuale pot fi deosebit de utile, astfel de perioade putînd fi legate de cazurile în care anumite nave cosmice au suferit perturbații însemnate în mișcarea lor, regăsirea lor pe bolta cerească putînd fi realizată printr-o campanie de observare intensă.

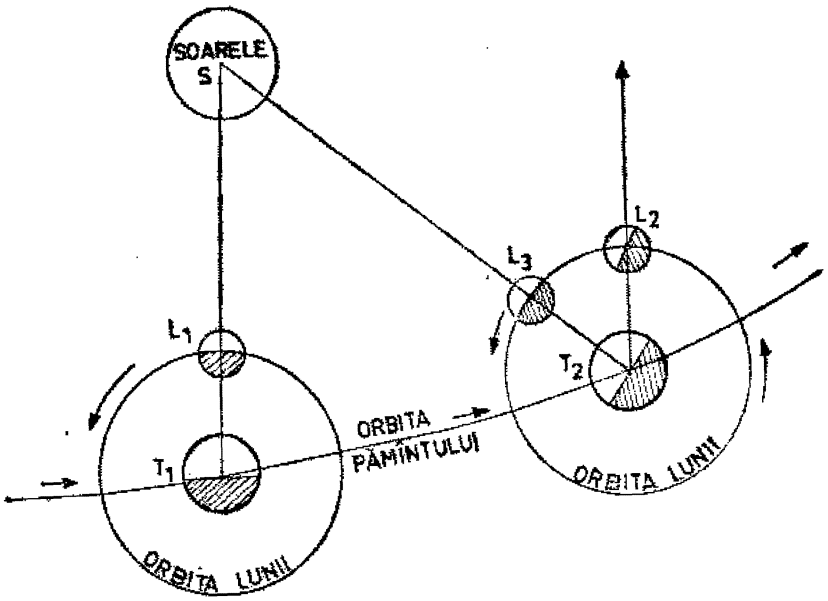
3.5. **Observarea Lunii** [2], [13], [16], [35], [38]

În expunerea de pînă acum ne-am referit la observatorul care se găsește în aer liber, într-o noapte senină și fără Lună, specificînd faptul că lumina puternică care vine de la Lună ar putea să împiedice observarea unor obiecte pe sfera cerească. Acum însă trebuie să ne referim și la nopțile în care Luna strălucește pe firmament, adică să analizăm modul în care astronomii amatori ar putea lucra și în astfel de nopți.

De altfel, Luna este satelitul natural al Pămîntului, nu are lumină proprie, ea reflectă lumina pe care o primește de la Soare. Nu are atmosferă, iar depărtarea medie față de Pămînt este de numai 384 mii km.

Luna se deplasează pe orbita sa cu o viteză medie de 1 020 km/s, ceea ce înseamnă că, mișcîndu-se în jurul Pămîntului, revine în dreptul aceleiași stele după un interval de timp de 27 zile, 7 ore 43 minute și 11,47 secunde. Acest interval de timp se numește *perioadă siderală*.

Pe de altă parte, Luna se rotește în jurul axei sale într-o perioadă de timp egală cu perioada de mișcare în jurul Pămîntului, fapt pentru care ea arată mereu aceeași față spre Pămînt. În fig. 3.13 am reprezentat Soarele *(S)*, Pămîntul *(T)* și Luna *(L)*, în poziția inițială fiind socotite punctele: S, T_1 și L_1. După un interval de timp egal cu perioada siderală a Lunii, cele trei corpuri se vor găsi în punctele: S, T_2 și L_2. Pentru ca Luna să ajungă iarăși în poziție coliniară cu Soarele și Pămîntul, în L_3, va trebui să mai treacă un anumit interval de timp. În modul acesta se vede că *perioada sino-*



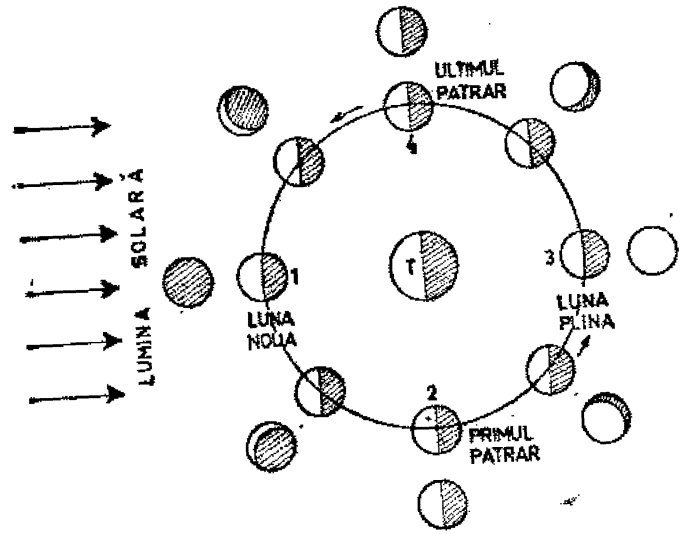
3.13. Definirea perioadei sinodice a Lunii.

dică — interval de timp dintre două conjuncții este mai mare decît perioada siderală. Perioada sinodică se determină observațional și este egală cu 29 zile, 12 ore, 44 minute și 2,8 secunde.

Luna nu are lumină proprie, ea putînd fi observată datorită luminii solare pe care o reflectă. De aceea, noi nu putem vedea decît porțiunea iluminată de Soare, dar nici pe aceasta în întregime, ci numai partea care este orientată spre Pămînt. Aceasta este cauza principală a fazelor lunare, explicarea lor fiind dată în fig. 3.14.

Faza „Lună Nouă" o avem atunci cînd spre Pămînt este orientată suprafața neiluminată de Soare. Apoi apare o fișie iluminată, o „secere", care crește din ce în ce mai mult pînă cînd Luna ajunge la 90° față de poziția corespunzătoare fazei „Lună Nouă". În acest timp spre observatorul terestru va fi orientată jumătate din jumătatea iluminată a suprafeței lunare și avem faza „Primul Pătrar".

În continuare, observatorul vede din ce în ce mai mult din suprafața iluminată, iar la 180° de la faza „Lună Nouă" lumina Soarelui va ilumina întreaga suprafață pe care Luna



3.14. Fazele Lunii.

o arată Pămîntului, avem faza „Lună Plină". Urmează apoi faza „Ultim Pătrar", la care Luna prezintă observatorului terestru jumătate din cealaltă jumătate de suprafață iluminată, adică iarăși este vizibil numai un sfert din suprafața Lunii etc.

În ultimul timp, s-a dovedit că și planetele Mercur și Marte au relieful asemănător cu acela al Lunii, fapt de mare importanță pentru o serie de cercetări cu privire la trecutul sistemului solar.

În vederea descrierii discului aparent al Lunii, trebuie să facem următoarele precizări: se numește *terminator* curba care, pe discul lunar, separă partea iluminată de partea obscură; se numește *limb* limita discului lunar. Din cauza fazelor lunare, limbul Lunii poate să fie un arc de cerc, semicerc sau cerc, pe cînd terminatorul are curbura variabilă.

Relieful lunar se poate pune în evidență cu multă ușurință dacă se fac observații printr-o lunetă oricît de mică sau chiar printr-un binoclu. În modul acesta, observația ne arată că suprafața Lunii este acoperită cu neregularități care se observă foarte bine în vecinătatea terminatorului, unde aspectul Lunii are un caracter dantelat. De la terminator spre limb, relieful este mai puțin pronunțat, deoarece

există mai multă lumină solară, motiv pentru care nu se pot distinge bine toate detaliile.

O examinare mai amănunțită arată că relieful lunar este alcătuit din trei categorii de formațiuni: mări, continente și cratere.

Mările sînt regiuni vaste mai întunecoase și netede. Ele sînt denumite impropriu așa, deoarece pe Lună nu există urme de apă. De asemenea și denumirea de continente este tot improprie, acestea din urmă fiind regiuni deluroase sau muntoase care înconjură „mările". Există lanțuri de munți care au înălțimea de 5 – 6 mii de metri, cum sînt Munții Alpi, de exemplu.

Craterele sînt formațiunile care într-adevăr caracterizează relieful lunar. Ele sînt de forme și dimensiuni diferite, de la cele mai mari care pot depăși 200 km în diametru, cum este, de exemplu, Craterul Clavius, și pînă la cele de dimensiuni „microscopice".

Relieful este destul de bine cunoscut și există hărți foarte detaliate cu denumirile formațiunilor respective. După lansarea navelor cosmice au fost întocmite hărți și pentru partea „invizibilă" a Lunii, este vorba de acea față a Lunii care nu se poate observa de pe Pămînt. Hărțile cu relieful lunar ar fi deosebit de utile pentru astronomii amatori mai avansați care ar dori să facă o supraveghere a suprafeței Lunii și, eventual, să surprindă fie erupția unui vulcan, fie căderea unui meteorit mai remarcabil.

Menționăm aici faptul că la 26 octombrie 1956, în conul central al Craterului Alphonsus, astronomul sovietic N.A. Kozirev de la Observatorul astrofizic din Crimeea, a observat o mică erupție vulcanică. Este vorba de o izbucnire de gaze care au antrenat cu ele și praful lunar, observația respectivă fiind efectuată vizual, printr-o lunetă căutătoare prin care privea în timpul în care fotografia Luna.

Pe bolta cerească Luna se deplasează de la est spre vest ca o consecință a mișcării diurne. În plus, Luna poate fi reperată și față de stelele de pe firmament în raport cu care ea are o mișcare de la vest spre est, această mișcare fiind cauzată de mișcarea ei orbitală în jurul Pămîntului. Prin urmare, un astronom amator ar putea determina traiectoria Lunii „printre stele". Apoi, avînd în vedere faptul că de la o fază la alta trecerea se face treptat, s-ar putea urmări procentajul de suprafață iluminată de Soare și vizibilă la diferite momente.

În mișcarea sa pe bolta cerească, Luna acoperă unele stele; asupra observării acestui fenomen vom reveni în paragraful următor, fiind vorba de ocultarea stelelor de către Lună.

În fine, un observator mai pretențios ar putea efectua observații asupra mișcărilor de *librație* ale Lunii, librația fiind un fel de „balansare" a satelitului nostru natural. Ea produce ușoare oscilații ale globului lunar în jurul unei poziții mijlocii, care ne permit să vedem cu ceva mai mult decît jumătate din suprafața Lunii.

3.6. Eclipsele și observarea lor [11], [16], [35], [36]

Ce ar putea fi oare mai spectaculos decît „dispariția" neașteptată a Soarelui de pe bolta cerească în plină zi, sau a Lunii în decursul nopții? Iată de ce, eclipsele de Soare și de Lună au atras atenția omului din cele mai vechi timpuri.

Încercînd să-și explice „întunecările" de Soare și de Lună, omul primitiv, lipsit de informații științifice, a interpretat aceste fenomene ca pe niște acțiuni ale forțelor supranaturale. Astfel, de exemplu, în Asia de sud-est se credea că există un anumit balaur care își întinde puternicele gheare negre asupra Soarelui sau Lunii, după felul eclipsei, și încerca să-l înghită. Pentru a lupta împotriva acestui demon, împotriva „posibilității" lui de a răpi aștrii, indienii, de pildă, se scufundau pînă la gît în apa rîurilor, considerînd că în modul acesta ar putea speria și alunga balaurul.

Dar odată cu trecerea timpului, omul a început să cunoască natura, să observe și să interpreteze tot mai corect fenomenele. Pe baza unor serii lungi de observații s-au stabilit reguli empirice și, mai tîrziu, teoretice cu privire la repetarea celor mai remarcabile fenomene, printre acestea prevederea eclipselor a devenit aproape proverbială.

În timpul stabilirii unor reguli empirice pentru prevederea eclipselor de Soare și de Lună, curțile imperiale au organizat servicii astronomice care aveau obligația să anunțe din timp apropierea unor astfel de fenomene, pentru a se putea organiza slujbe religioase prin care să se înduplece forțele divine să lase pe cer cei doi aștri — Soarele și Luna — atît de folositori pentru omenire. Un astfel de exemplu poate fi dat în legătură cu eclipsa de Soare care a avut loc în ziua de 22 octombrie

8*

a anului 2136 î.e.n. Această eclipsă, care nu a fost prevăzută dinainte, a produs panică în populație iar astronomii Hi și Ho, de la curtea imperială chineză, au fost executați pentru „neglijență de serviciu", deoarece nu au prezis fenomenul.

Foarte probabil că Tales din Milet (c. 624 — 546 î.e.n.) a fost primul care a explicat corect modul de producere a eclipselor și a reușit să anunțe din timp eclipsa de Soare din anul 585 î.e.n. Această eclipsă a rămas celebră, deoarece, prin spaima și frica pe care le-a provocat, a pus capăt unei bătălii dintre mezi și lidieni.

O dată cu trecerea timpului, oamenii au devenit din ce în ce mai conștienți de adevărul care stă la baza desfășurării fenomenelor naturale. Ei au început să se obișnuiască cu astfel de fenomene și să admire cu curiozitate modul în care se realizează concordanța dintre prevedere și observație. Încă din 1842 nu se mai punea la îndoială temeinicia anunțului unei eclipse, curiozitatea lua locul fricii și mii de oameni se deplasau la locurile anunțate de unde se putea urmări o eclipsă de Soare.

Dar cunoștințele despre natura eclipselor nu s-au răspîndit în același timp peste tot globul pămîntesc. Astfel, de exemplu, cu ocazia eclipsei de Soare de la 15 martie 1877 s-a produs o mare panică în rîndul armatelor turcești. Soldații turci au descărcat armele în „balaurul" care încerca să înghită Soarele. De asemenea, în timpul celor două eclipse de Soare din 1900 și 1905 (vizibile din Spania), numeroase persoane au fost cuprinse de panică, deși fenomenele au fost anunțate din timp și s-au făcut precizări în legătură cu faptul că ele nu vor avea nici o influență asupra Pămîntului. În multe cazuri, însă, cunoștințele despre mecanismul eclipselor era păstrat în secret, de el făcînd uz unii reprezentanți ai claselor exploatatoare pentru a-și menține „autoritatea" asupra celor asupriți.

Astăzi se știe că problema eclipselor este legată de mișcarea corpurilor cerești, de pozițiile lor reciproce, precum și de dimensiunile lor aparente. De aceea, prin noțiunea de eclipsă înțelegem acum fenomenul care este o consecință directă a unor poziții particulare pe care le pot avea două corpuri în raport cu un observator situat pe un al treilea corp, unul din corpuri împiedicînd lumina altuia să ajungă la observator. Astfel de poziții am mai întîlnit în paragraful 3.2. (fig.3.7) unde a fost vorba de trecerile planetelor interioare peste

discul solar. Nu am considerat acolo fenomenul ca o eclipsă, deoarece planeta, deși apărea ca un punct întunecat pe discul Soarelui, nu afectează strălucirea Soarelui în mod sensibil.

Avînd în vedere structura heliocentrică a sistemului nostru planetar, fenomenul de eclipsă poate să apară la fiecare planetă care are sateliți, cel mai spectaculos pentru noi fiind cazul planetei noastre cu satelitul său — Luna. Prin urmare, eclipsarea unui corp ceresc se produce ori de cîte ori el devine total sau parțial „întunecat" fie că lumina care vine de la el este ecranată de alt corp ceresc — lumina de la Soare poate fi ecranată de Lună și să nu ajungă la observatorul terestru, fie că obiectul care este iluminat de Soare intră în conul de umbră al Pămîntului și nu mai poate fi văzut. Luna poate intra în conul de umbră al Pămîntului.

În fig. 3.15 avem Soarele, S, în jurul căruia se mișcă Pămîntul, T, iar în jurul acestuia din urmă gravitează Luna, L. De aici se vede că dacă orbita Lunii ar fi cuprinsă în planul orbitei terestre, în fiecare lună ($\approx$30 zile) am avea o eclipsă de Soare și una de Lună. Cînd Luna se află în direcția opusă față de Soare (fig. 3.15), pentru observatorul terestru Luna intră în conul de umbră al Pămîntului — eclipsă de Lună. Cînd Luna se află între T și S observatorul nu vede Soarele, deoarece el, observatorul, se găsește în conul de umbră al Lunii (fig. 3.16). Dar, deoarece planul orbitei lunare este înclinat ($i_L = 5°9'$) față de planul orbitei terestre, calculele eclipselor este mult mai complicat. De aceea pentru a dispune de o bună prevedere empirică, a fost necesar ca aceste fenomene să fie observate pe un interval mai mare de timp.

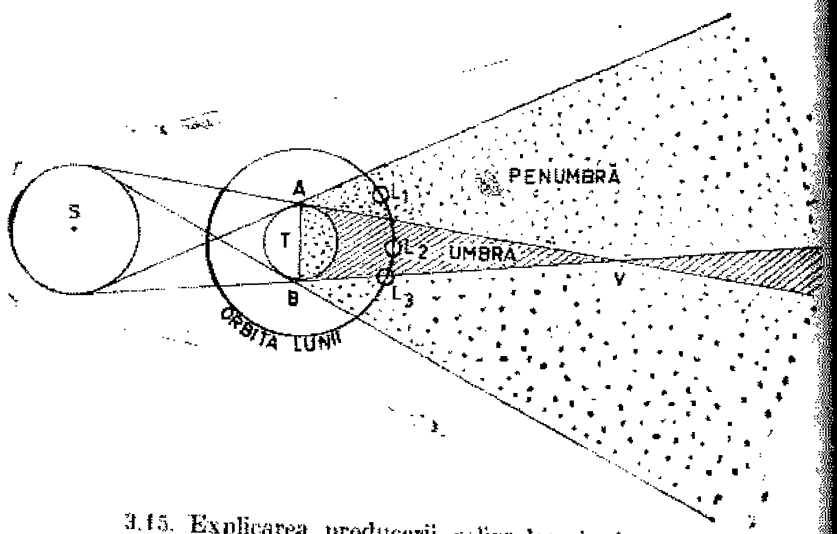
a) *Eclipsele de Lună*

Din fig. 3.15. se vede că dacă Luna a intrat în întregime în conul de umbră al Pămîntului, cum este cazul din L_2, avem *eclipsă totală de Lună.*

Dacă Luna intră numai parțial în conul de umbră, avem *eclipsă parțială.*

Dacă Luna poate intra complet în conul de umbră, dar la un moment dat este în curs de intrare sau ieșire și este numai parțial intrată, avem *fază parțială a unei eclipse totale*, cum este cazul în L_3.

Dacă Luna intră numai în conul de penumbră, avem *eclipsă prin penumbră*, în timpul căreia Luna este vizibilă, dar



3.15. Explicarea producerii eclipselor de Lună.

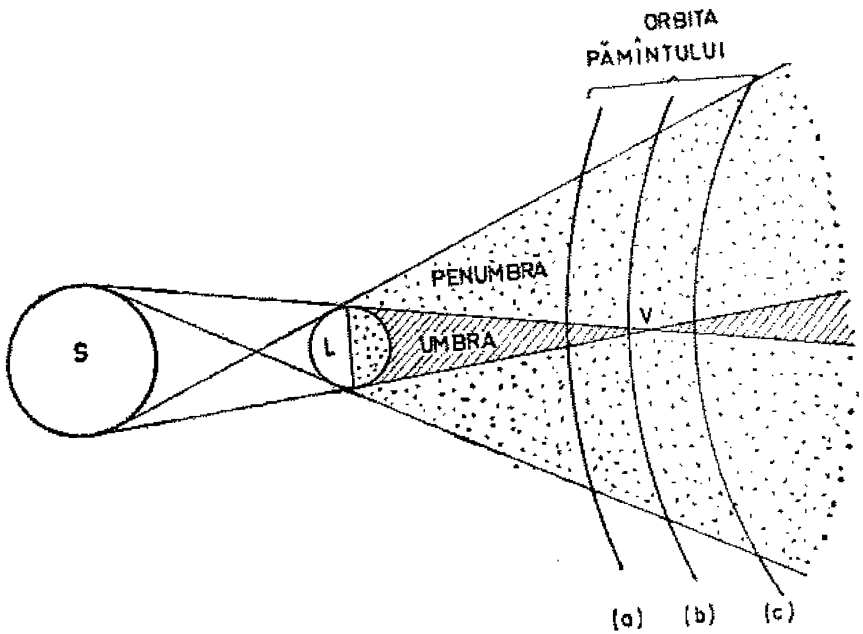
strălucirea ei este mult redusă față de cazul cînd nu avem nici un fel de eclipsă.

Eclipsele de Lună pot avea loc numai atunci cînd Luna este în faza de „Lună Plină".

b) *Eclipsele de Soare*

Eclipsarea Soarelui de către Lună se produce numai la „Lună Nouă". De aceea, ele se pot asemăna cu trecerile planetelor interioare peste discul solar, dar la o scară mult mai mare.

Eclipsele de Soare sînt foarte spectaculoase mai ales prin faptul că diametrul aparent al Soarelui este aproximativ egal cu diametrul aparent al Lunii. De fapt, distanța de la Pămînt la Lună fiind variabilă, diametrul aparent al Lunii va fi, de asemenea, variabil, fapt pentru care există condiții diferite în care se desfășoară eclipsele de Soare. În fig. 3.16 sînt reprezentate trei feluri posibile de eclipse de Soare; (a), (b) și (c) fiind trei poziții particulare ale suprafeței terestre: Cînd suprafața Pămîntului este definită de arcul (*a*), conul de umbră al Lunii și suprafața terestră se intersectează iar observatorii din interiorul ariei comune vor vedea discul Lunii proiectîndu-se peste discul solar, vor vedea o eclipsă totală de Soare. Apoi, deoarece Luna se mișcă în jurul Pă-



3.16. Explicarea producerii eclipselor de soare.

mîntului, umbra respectivă se deplasează pe suprafața terestră și va descrie o fișie din interiorul căreia observatorul poate vedea eclipsa totală de Soare.

Cunoscînd mișcarea Lunii în jurul Pămîntului și a Pămîntului în jurul Soarelui, se pot determina dinainte atît zona de totalitate cît și momentul cînd se va produce o astfel de eclipsă.

Durata totalității unei eclipse de Soare depinde de timpul necesar ca umbra Lunii să treacă pe deasupra unui observator. O eclipsă de Soare poate avea durata maximă de aproximativ 7 minute.

Dacă suprafața Pămîntului este definită de arcul (*b*), eclipsa mai poate fi totală, dar durează foarte puțin (o fracțiune de secundă), deoarece lărgimea conului de umbră este extrem de mică.

În fine, dacă suprafața terestră este definită prin arcul (*c*), observatorul din interiorul conului de umbră va putea vedea o eclipsă inelară de Soare.

În cazul eclipselor de Soare putem avea eclipse parțiale, totale și inelare.

O eclipsă de Soare poate fi observată numai din acele puncte peste care trece conul de umbră al Lunii, pe cînd o eclipsă de Lună este vizibilă din toate punctele de pe suprafața Pămîntului care au Luna deasupra orizontului. Din această cauză, eclipsele de Lună apar mult mai frecvente decît cele de Soare. În realitate, însă, într-un an pot avea loc maximum 7 eclipse din care 5 de Soare și 2 de Lună.

Ultima eclipsă totală de Soare vizibilă din țara noastră a avut loc la 15 februarie 1961, iar următoarea eclipsă totală vizibilă de la noi va avea loc în anul 1999. În tabelele 3.3 și 3.4 sînt indicate eclipsele totale de Lună și respectiv de Soare pentru ultimii 20 ani ai secolului nostru.

TABELUL 3.3

Eclipse totale de Lună

Data	t_1	t_2	Vizibilă din România
9.01.1982	21h14m	22h35m	da
6.07.1982	8h39m	10h21m	nu
30.12.1982	12h53m	13h59m	nu
1.05.1985	21h22m	22h32m	da
25.10.1985	19h22m	20h34m	da
24.04.1986	14h10m	15h12m	nu
17.10.1986	20h42m	21h53m	da
20.02.1989	16h59m	18h15m	da
17.08.1989	4h16m	5h55m	nu
9.02.1990	20h49m	22h35m	da
19.12.1992	1h06m	2h20m	da
4.06.1993	14h11m	15h49m	nu
29.11.1993	8h04m	8h51m	nu
4.04.1996	1h27m	2h51m	da
27.09.1996	4h17m	5h29m	da
16.09.1997	20h14m	21h20m	da

În tabelul 3.3, t_1 este momentul începutului totalității exprimat în timp legal român, pe cînd t_2 este momentul sfîrșitului totalității.

În tabelul 3.4, t reprezintă momentul la care are loc totalitatea, exprimat în ore (timp legal român = timpul universal plus două ore), pe cînd d este durata totalității exprimată în minute.

TABELUL 3.4.

Eclipsele totale de Soare

Data	t	d	Zona de vizibilitate
16.02.1980	11	4	Africa, India
31.07.1981	6	2	Oceanul Pacific, Siberia
11.06.1983	7	5	Java, Oceanul Pacific
23.11.1984	1	2	Patagonia, Oceanul Pacific
12.11.1985	16	1	Antarctica
3.10.1986	21	2	Groenlanda
29.03.1987	15	0	Africa
18.03.1988	4	4	Oceanul Pacific, Sumatra
22.07.1990	5	3	Finlanda, Siberia de Nord
11.07.1991	21	7	Oceanul Pacific, America Centrală
30.06.1992	14	5	Oceanul Atlantic
3.11.1994	16	4	Oceanul Pacific, America de Sud
24.10.1995	7	2	Oceanul Pacific
9.03.1997	3	3	Siberia Orientală
26.02.1998	19	4	Oceanul Pacific, America Centrală
11.08.1999	13	3	Europa Apuseană, Iran, India

c) *Ocultarea stelelor și planetelor de către Lună*

Așa cum am mai amintit, pe bolta cerească, în afara mișcării diurne — de la est spre vest — Luna are și o mișcare de la vest spre est, aceasta din urmă fiind o consecință a mișcării sale orbitale în jurul Pămîntului. Prin urmare, la momente diferite, Luna ajunge în dreptul stelelor pe care le „acoperă" așa cum ea acoperă și Soarele în timpul eclipselor de Soare. Se produc eclipse de stele pe care le numim *ocultații*.

Astronomul amator poate observa cu ușurință ocultarea stelelor de către Lună. Pentru aceasta el trebuie să urmărească Luna în mișcarea sa pe bolta cerească și, în mod deosebit, să fie atent la partea estică a limbului lunar. În acest mod se

poate vedea cum, la un moment dat, discul lunar se apropie din ce în ce mai mult de o anumită stea, devine tangent la imaginea punctiformă a stelei și, apoi, o acoperă complet. Faza corespunzătoare „intrării stelei în spatele Lunii" se numește *imersiune*, adică dispariția stelei după discul aparent al Lunii.

După un interval de timp, în care Luna s-a deplasat destul de mult pe bolta cerească, obiectul ocultat apare la vestul discului lunar, devenind instantaneu observabil. Această fază se numește *emersiune*, adică reapariția obiectului ocultat.

Cînd Luna este în „creștere", adică între fazele „Lună Nouă" și „Lună Plină", partea iluminată a ei este orientată spre vest către apusul Soarelui — este cazul vizibilității fenomenului în primele ore ale serii. De aceea, între aceste faze ale Lunii imersiunile se observă la partea obscură (neiluminată) a discului lunar, fapt care permite să se obțină observații de mare precizie. În schimb, în astfel de situații, emersiunea are loc la partea iluminată a discului respectiv, iar notarea momentului corespunzător este mai puțin precisă.

Între fazele „Lună Plină" și „Lună Nouă" situația se inversează, partea iluminată a discului lunar este orientată spre est, iar emersiunile se observă cu mai multă ușurință decît imersiunile.

De obicei, imersiunile se observă cu precizie destul de mare, deoarece observatorul poate urmări modul în care Luna se „apropie" de obiectul care urmează a fi ocultat și poate fi atent la notarea timpului.

Dacă observatorul urmărește „apropierea" Lunii de o anumită stea, el vede în aparență steaua apropiindu-se de Lună și, într-o primă aproximație, cunoaște direcția acestei deplasări, direcție în care se va produce și emersiunea. Prin urmare, într-o primă aproximație se poate cunoaște locul unde se va produce emersiunea, situație care permite ca fenomenul respectiv să fie observat cu precizie destul de mare.

Într-o seară senină se pot observa ocultațiile mai multor stele, numărul acestora depinzînd de frecvența stelelor mai strălucitoare pe direcția în care se deplasează Luna pe bolta cerească. De obicei, în această problemă se urmăresc stele mai strălucitoare, cu magnitudini aparente mai mici de 10.

În cursul mișcării sale aparente pe bolta cerească, Luna poate oculta și unele planete din sistemul solar. Observarea

unor astfel de fenomene poate lua în considerare și durata ocultației, adică intervalul de timp scurs de la momentul cînd discul aparent al planetei este tangent exterior la discul lunar (începutul ocultației) și momentul cînd discurile respective devin tangente interior, adică începutul fazei de imersiune totală. Un astfel de fenomen pentru planeta Jupiter durează 80 de secunde, pe cînd durata imersiunii lui Marte este de numai 20 secunde.

Ocultațiile de stele și planete sînt foarte importante pentru problemele legate de mișcarea Lunii în jurul Pămîntului, observațiile de acest fel furnizînd un material deosebit de util pentru verificarea teoriei Lunii.

Desfășurarea ocultațiilor ar mai putea fi examinată în legătură cu ocultarea stelelor de către planete sau comete, sau „ocultarea" reciprocă a planetelor fenomen extrem de rar. Observarea unor astfel de fenomene aduce informații prețioase cu privire la diametrele planetelor și detectarea straturilor atmosferice. În plus, urmărirea ocultațiilor creează o satisfacție deosebită observatorului care, în acest mod, observă mișcarea corpurilor respective.

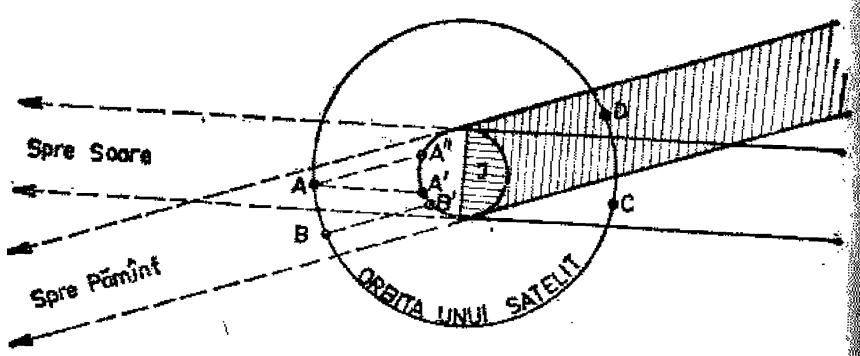
d) *Eclipsarea sateliților lui Jupiter*

În paragraful 3.2 am prezentat unele probleme pe care astronomii amatori le pot urmări efectuînd observații asupra planetei Jupiter. Revenim acum cu cîteva precizări privind observarea eclipselor sateliților acestei planete gigante.

Planeta Jupiter are un con de umbră care se întinde pînă dincolo de orbita lui Callisto. Din acest motiv și din considerațiile privind pozițiile sateliților galileeni, la fiecare revoluție aceștia trec prin conul de umbră a planetei și sînt eclipsați, unele excepții se pot întîlni la cel de al patrulea satelit — Callisto.

În fig. 3.17 sînt prezentate cîteva din pozițiile pe care le poate avea un satelit al lui Jupiter față de observatorul terestru. În momentul cînd un satelit se găsește în punctul *A*, pe discul planetei se pot vedea atît proiecția acestuia (*A'*) ca un punct luminos, cît și umbra lui ca un punct întunecat (*A''*).

Cînd sateliul ajunge în *B*, pentru observatorul terestru el apare ca un punct întunecat care se deplasează peste discul aparent al planetei Jupiter, fenomenul fiind asemănător cu trecerea planetelor peste discul solar.

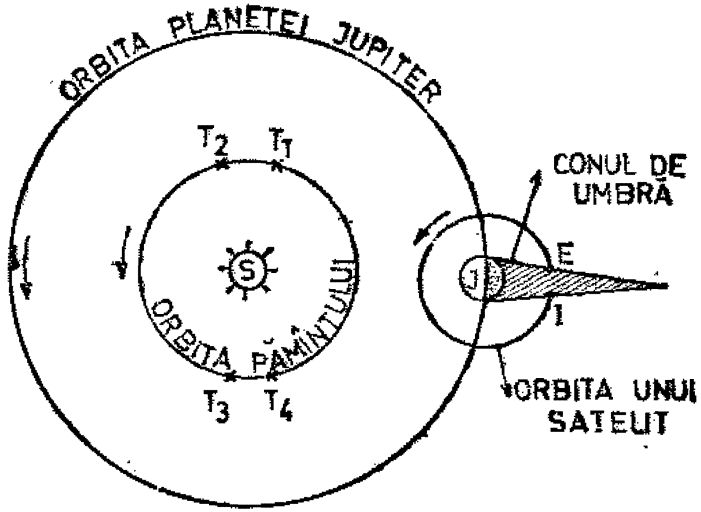


3.17. Poziții ale sateliților lui Jupiter în raport cu Pămîntul.

Cînd satelitul ajunge în C, el a intrat în conul de umbră al planetei și nu este observabil. În fine, cînd ajunge în D, satelitul este ocultat de către planetă și rămîne de asemenea invizibil pentru observatorul de pe Pămînt.

În secolul al 17-lea astronomul danez Olaus Römer (1644 — 1710) a constatat că durata perioadelor orbitale ale sateliților lui Jupiter variază ritmic în decursul fiecărei perioade sinodice. El a observat că perioada unui satelit are valoarea maximă cînd Jupiter se află la 90° est față de direcția Soare-Pămînt și devine minimă atunci cînd planeta se găsește la 90° vest față de direcția respectivă. Această constatare se poate explica cu ajutorul figurii 3.18 în care este arătat, schematic, raționamentul care a stat la baza determinării vitezei luminii. Aici I înseamnă imersiune, iar E reprezintă emersiunea.

Fie t_1 momentul unei emersiuni pe care observatorul terestru o vede atunci cînd Pămîntul se află în T_1. După un interval de timp, θ, egal cu perioada de revoluție a satelitului considerat, are loc cea de-a doua emersiune. Dar în acest timp Pămîntul și cu observatorul, mișcîndu-se în jurul Soarelui, s-au deplasat din T_1 în T_2. Prin urmare, lumina care vine de la cea de-a doua emersiune nu mai găsește observatorul în T_1 ci în T_2 și, pentru a parcurge distanța T_1T_2, mai are nevoie de un anumit timp ceea ce, în acest caz, face ca perioada observată a satelitului să pară mai mare decît este ea în realitate. Este vorba de o creștere aparentă a perioadei. Aici Jupiter se află la aproximativ 90° față de direcția Soare-Pămînt.



3.18. Utilizarea eclipselor sateliților lui Jupiter pentru determinarea vitezei luminii.

Cînd Pămîntul și observatorul terestru se vor găsi în T_3, se pot observa momentele imersiunilor. Aici, în timpul unei perioade θ, observatorul trece din T_3 în T_4, adică după prima imersiune (dintr-o serie dată) care a avut loc la momentul t_3, următoarea imersiune va avea loc cu ceva mai repede, deoarece observatorul a venit în întîmpinarea razelor de lumină, iar perioada, în mod aparent, se scurtează.

În anul 1675, Römer a interpretat variațiile observate în duratele perioadelor sateliților galileeni ca fiind cauzate de viteza finită a luminii și a adus prima dovadă observațională a faptului că Pămîntul se mișcă în jurul Soarelui.

Eclipsarea sateliților lui Jupiter, ca și ocultațiile stelelor de către Lună, în zilele noastre, este interesantă pentru îmbogățirea cunoștințelor noastre privind mișcarea corpurilor cerești și, în același timp, pentru satisfacția observatorului.

*

În fine, în cadrul acestui paragraf am mai putea vorbi despre eclipsarea reciprocă a componentelor unei stele duble, dar astfel de obiecte nefăcînd parte din sistemul solar, discuțiile respective le vom prezenta în capitolul următor.

3.7 Soarele în centrul activității cercurilor de astronomi amatori [10], [13], [28] [38], [39]

Ca și celelalte stele, Soarele reprezintă o masă gazoasă incandescentă, de la care primim lumină și căldură, energia radiată de el fiind de importanță vitală pentru orice fel de activitate de pe suprafața Pământului. Poziția Soarelui printre celelalte stele este marcată pe diagrama H – R (vezi fig. 1.15), de unde se vede că astrul central al sistemului nostru planetar este o stea mijlocie, fiind caracterizat prin următorii parametri fizici:

Raza = $R_\odot$ = 695990 km = 109 raze terestre,
Temperatura la suprafață = $T_\odot$ = 6000 grade,
Temperatura centrală = T_c = 15,5 milioane grade,
Densitatea medie = $\overline{\rho}_\odot$ = 1,41 gr/cm^3,
Luminozitatea = $L_\odot = 3{,}826 \cdot 10^{33}$ ergi/s,
Masa = $\mathfrak{M}_\odot = 1{,}989 \cdot 10^{33}$ gr,
Magnitudinea aparentă = $m_\odot$ = –26,82
Magnitudinea absolută = $M_\odot$ = + 4,75

Deoarece Pământul se mișcă în jurul Soarelui pe o orbită excentrică (eliptică), depărtarea de la noi la Soare variază între 147 100 000 și 152 100 000 km. Din această cauză diametrul unghiular al discului solar variază între 31'28" și 32'32", diametrul aparent mediu fiind de 31'59",26.

Din observarea unor detalii pe discul solar (pete, flocule etc.) se constată că Soarele se rotește în jurul unei axe care trece prin centrul său și determină doi poli pe suprafața solară. Sensul acestei rotații, la latitudini nordice ale Pământului, este de la stînga spre dreapta observatorului, adică de la est spre vest. Din acest motiv spre observatorul terestru sînt orientate mereu alte porțiuni din suprafața Soarelui. Perioada de rotație solară este de 27 zile, așa cum se vede de pe Pământ, dar dacă se ține seamă și de mișcarea Pământului în jurul Soarelui, perioada de rotație solară este de circa 25 zile.

Planul care trece prin centrul Soarelui și este perpendicular pe axa sa de rotație determină *ecuatorul solar*. Planul care trece prin axa de rotație și prin punctul central al discului solar vizibil se numește *meridian solar central*.

La fel ca și pe Pământ, pe Soare se pot stabili sisteme de coordonate heliografice: distanța unghiulară măsurată de la un punct oarecare de pe discul solar, socotită de-a lungul meridianului respectiv, se numește *latitudine heliografică*, pe cînd *longitudinea heliografică* se măsoară de-a lungul ecuatorului, de la meridianul central pînă la meridianul punctului respectiv.

Planul ecuatorului solar este înclinat cu 7°15' față de planul orbitei terestre.

În jurul anului 1860, R.C. Carrington a constatat că viteza de rotație a Soarelui nu este aceeași peste tot. Astăzi se știe că regiunile din vecinătatea ecuatorului solar efectuează o rotație completă într-un interval de timp de circa 25 zile, la latitudinea heliografică de 10° perioada de rotație este de 25,6 zile, la latitudinea de 30° perioada respectivă este de 26,6 zile, pe cînd în apropierea polilor rotația respectivă se efectuează în 35 zile.

Din punct de vedere descriptiv, Soarele este alcătuit dintr-o parte interioară care nu este accesibilă observațiilor directe și partea exterioară care se studiază prin metode observaționale, aceasta din urmă fiind esențială pentru scopul urmărit în cadrul prezentei cărți.

Primul strat accesibil observațiilor este *fotosfera* (=sfera de lumină) care reprezintă învelișul solar de la care primim lumină.

Următorul strat exterior este *cromosfera* (= sfera de culoare), un strat mai puțin strălucitor, dar care se poate observa numai în timpul eclipselor totale de Soare.

În sfîrșit, partea exterioară este *coroana solară* care se întinde pînă la depărtări enorme.

a) *Fotosfera*

Din punct de vedere observațional, Soarele se prezintă ca un disc luminos și apare ca și cum ar avea o margine bine conturată. Prin urmare, s-ar părea că sub acest disc luminos, care se numește fotosferă, există un fluid dens, asemănător cu un lichid, iar deasupra fotosferei ar exista un gaz foarte rarefiat. Această idee este greșită deoarece densitatea materiei respective scade treptat spre exterior și nu există o trecere asemănătoare cu aceea de pe Pământ, unde trecerea de la sol la atmosferă este o trecere directă de la solid la starea gazoasă.

În cazul Soarelui, straturile superioare, cromosfera și coroana, nu se pot observa în condiții obișnuite din cauza strălucirilor lor slabe în raport cu aceea a fotosferei, în timp ce sub fotosferă nu putem observa materia respectivă deoarece acolo radiațiile suferă o absorbție puternică care este determinată de prezența ionilor de hidrogen (H^-).

De fapt, fotosfera este un strat cu grosimea cuprinsă între 200 și 300 km, dar, avînd în vedere raza mare a Soarelui, practic, acest strat poate fi considerat ca o suprafață — suprafața Soarelui.

Din examinarea atentă a distribuției strălucirii pe discul solar, se constată că intensitatea energiei radiate spre observatorul terestru scade de la centru spre periferie. Acest fenomen a fost explicat prin faptul că razele de lumină suferă o anumită absorbție atunci cînd trec prin atmosfera solară, razele de la periferia discului parcurgînd un drum mai lung prin atmosfera respectivă. Astăzi se știe că această absorbție este mică și nu poate explica în întregime fenomenul observat. De aceea, cauza principală a întunecării spre marginea discului solar este admisă ca fiind adîncimea diferită de la care vin radiațiile centrale și cele periferice.

O altă caracteristică a fotosferei solare o reprezintă *granulația*. Privită prin lunetă sau telescop, fotosfera apare ca o suprafață agitată, pe care sînt răspîndite granule — formațiuni de materie gazoasă care au temperatura cu vreo 300° mai mare decît temperatura fotosferică. Aceste granule sînt mai luminoase și se aseamănă cu boabele de orez, dar ale căror dimensiuni sînt cuprinse între 250 și 1 500 km. Ele au o durată de existență mai scurtă de un sfert de oră, apariția lor fiind determinată de transferul de energie de la interior spre exterior prin cunoscutul proces de convecție.

Tot pe fotosferă se pot observa așa-numitele *pete solare*, care sînt formațiuni de culoare mai închisă. Acestea au jucat un rol deosebit de important în observațiile astronomice efectuate de către astronomii amatori și continuă să fie și azi un subiect de actualitate.

Din punct de vedere spectroscopic, fotosfera se caracterizează printr-un spectru continuu, pe fondul căruia se observă liniile întunecate Fraunhofer. Apariția acestor linii spectrale este determinată de faptul că straturile mai puțin fierbinți, situate deasupra fotosferei, absorb acele radiații

pe care ele însele le-ar trimite dacă ar avea o temperatură mai ridicată.

Fotosfera este primul strat al atmosferei solare.

b) *Cromosfera*

Deasupra fotosferei, pînă la înălțimea de circa 12 mii kilometri, se găsește stratul următor al atmosferei solare — cromosfera. Această denumire provine de acolo că în timpul eclipselor totale de Soare stratul respectiv apare ca un „cerc" luminos de culoare roșiatică care înconjură discul solar eclipsat de către Lună.

Așa cum am amintit în paragraful 3.6b, în timpul unei eclipse totale de Soare, discul solar este acoperit de către Lună, aceasta fiind cauza pentru care fondul luminos al fotosferei se stinge brusc. În acest moment, în ocularul spectroscopului, în locul liniilor întunecate care alcătuiesc spectrul Fraunhofer apar sute de linii luminoase. Apare un spectru al cărui aspect poate fi observat foarte scurt timp, fapt pentru care el a fost numit „spectrul fulger". Durata de existență a spectrului fulger este determinată de durata scurtă a totalității eclipsei respective.

La început s-a presupus că apariția „spectrului fulger" ar fi determinată de existența unui strat special care ar exista între fotosferă și cromosferă — stratul inversant. Astăzi, însă, se știe că liniile de emisie din spectrul fulger aparțin atmosferei solare care, în timpul totalității eclipselor de Soare, se manifestă ca un corp luminos.

Culoarea roșiatică a cromosferei este determinată de emisia intensă a acesteia în linia H_α cu lungimea de undă de 6 563 Å.

Cromosfera este considerată ca fiind alcătuită din două părți: partea inferioară care este componentă cea mai densă și care se întinde de la limita inferioară și pînă la înălțimea de circa 4 mii kilometri deasupra fotosferei și partea superioară care reprezintă o trecere treptată spre coroana solară, ajungînd pînă la circa 12 000 km.

În interiorul cromosferei temperatura are o variație deosebită. Astfel, straturile situate în vecinătatea fotosferei au o temperatură mai joasă decît temperatura fotosferică, o valoare minimă de 4 000° este atinsă deja la înălțimea de cîteva sute de kilometri. Dar odată cu creșterea înălțimii, temperatura crește; la înălțimea de 4 000 km dea-

supra fotosferei se înregistrează circa 8 000°, la 12 000 km există deja mai multe mii de grade, pentru ca mai departe, în coroană să se înregistreze o temperatură de circa un milion de grade.

Se pare că partea inferioară a cromosferei este responsabilă de formarea liniilor de absorbție care se observă în spectrul solar. În această regiune densitatea este de aproximativ $5 \cdot 10^{-13}$ gr/cm³.

c) *Coroana solară*

Ca și cromosfera, coroana solară poate fi observată cu ochiul liber sau cu lunete și telescoape numai în timpul eclipselor totale de Soare, cînd ea apare ca o aureolă argintie în jurul discului solar. Coroana solară reprezintă stratul exterior al atmosferei Soarelui și se întinde pînă la distanțe de ordinul milioanelor de kilometri, aspectul ei fiind variabil.

Pînă în anul 1930, coroana solară se putea observa numai în timpul foarte scurt, cît dura o eclipsă totală de Soare. Acest fapt explică numărul mic de unități de timp în care a putut fi observat acest strat al atmosferei solare. În anul 1930, B. Lyot (1897—1952) a inventat coronograful, un aparat special pentru observarea coroanei solare în afara eclipselor totale de Soare.

La fel ca și cromosfera, coroana solară se împarte în două componente: partea interioară care se întinde de la cromosferă pînă la înălțimea de circa 300 000 km deasupra fotosferei, această componentă fiind străpunsă de mari jeturi coronale; partea exterioară care este foarte puțin strălucitoare și se întinde pînă la cîteva milioane de kilometri.

Observațiile mai noi au arătat că, de fapt, coroana solară se întinde pînă la depărtări de ordinul sutelor de milioane de kilometri. Ar fi vorba, deci, de o a treia componentă — *supercoroana* — în care se „scaldă" unele planete: Mercur, Venus, Pămîntul și Marte.

Coroana internă are un spectru continuu asemănător cu acela al fotosferei, cu excepția faptului că aici lipsesc liniile de absorbție. În plus, în spectrul coroanei au fost descoperite linii de emisie (linia verde cu lungimea de undă $\lambda = 5303$ Å, linia roșie cu $\lambda = 6374$ Å etc.) care nu puteau fi identificate cu liniile de emisie ale elementelor cunoscute pe Pămînt. De aici s-a desprins concluzia că în Soare ar exista un element nou — coroniul. Astăzi problema acestor linii este lămurită.

Prezența lor este determinată de faptul că în coroana solară densitatea este foarte redusă, iar atomii existenți sînt puternic ionizați. Astfel linia cu $\lambda = 5303$ Å corespunde atomului de fier de 13 ori ionizat (Fe XIV), iar linia cu $\lambda = 6374$ Å aparține atomului Fe X (atomul de fier de 9 ori ionizat).

La distanțele mari la care sînt situate păturile înalte ale coroanei radiația solară încălzește mai puțin. Un corp situat în coroana solară ar trebui să aibă o temperatură de vreo 2—3 mii de grade. Totuși, observațiile au pus în evidență existența unei temperaturi de ordinul unui milion de grade, această temperatură fiind cunoscută sub denumirea de *temperatură cinetică* și se referă la energia cinetică medie a mișcării atomilor și electronilor prezenți aici. Se pare că o explicație asemănătoare ar fi valabilă și pentru temperatura mare care se observă în partea superioară a cromosferei.

Cu ajutorul instrumentelor amplasate pe sateliți artificiali — observatoare orbitale circumterestre — s-au obținut date privind întreg spectrul electromagnetic. Din observațiile efectuate în domeniul undelor radio s-a ajuns la concluzia că de la Soare recepționăm atît radiație *termică*, cît și *nontermică*, aceasta din urmă fiind determinată de mișcarea electronilor în cîmpul magnetic — *efectul sincrotron*.

d) *Activitatea solară*

Prin noțiunea de activitate solară înțelegem totalitatea proceselor active care au loc în atmosfera Soarelui, procese cunoscute prin intermediul datelor observaționale. Aici, astronomii amatori pot găsi un vast domeniu de cercetare, unele dintre procesele respective fiind accesibile observațiilor efectuate cu instrumente modeste. De aceea, amintim aici faptul deosebit de important cu privire la observarea Soarelui, care, pentru evitarea unor accidente, se poate efectua numai prin intermediul unor filtre colorate (sticlă colorată sau afumată) sau prin proiectarea imaginii discului solar pe un ecran asemănător cu acela din fig. 2.12. Iată cîteva dintre cele mai semnificative componente ale activității solare.

i) *Petele solare* par a fi cel mai remarcabil mod de manifestare a activității solare. Ele au fost observate din timpuri străvechi, fiind însă văzute pentru prima dată prin lunetă de către Galileo Galilei în anul 1610.

O pată solară este o formațiune de culoare mai „întunecată" care apare printre granulele fotosferice. La început ea

apare ca un por care se dezvoltă și poate să dureze un interval de timp mai mare (o săptămînă sau mai mult).

Culoarea închisă a petei se datorează faptului că există un efect de contrast între strălucirea normală a fotosferei și strălucirea petelor care au o temperatură mai scăzută ($\approx 4\,500°$ K).

O pată solară poate fi considerată ca fiind compusă dintr-o parte centrală de culoare mai închisă numită *umbră* sau *nucleu* și partea periferică care este mai puțin întunecată și se numește *penumbră*. Trecerea de la fotosferă la penumbră și de la aceasta la umbră este marcată prin contururi bine determinate.

Deseori, petele solare sînt asociate în grupuri, acestea din urmă putînd fi deosebite între ele prin numărul de pete și modul de distribuție în interiorul grupului. În unele cazuri este destul de greu de precizat dacă este vorba de un anumit grup de pete solare sau există numai pete izolate, observațiile ulterioare putînd aduce noi precizări.

Uneori, petele din interiorul unui grup sînt distribuite în formă de lănțișor în care există două pete mari: pata *frontală* și pata *codală*, iar între acestea există pete mai mici și pori. Pata frontală este situată în partea din față a grupului (în direcția rotației Soarelui), iar pata codală este în coada grupului. Un astfel de grup se numește *grup bipolar* deoarece are două pete principale.

Dimensiunile, aspectul și poziția petelor solare sînt variabile în timp. Uneori poate exista numai umbra cum este cazul porilor iar altădată poate să existe numai penumbra.

O pată obișnuită are diametrul de circa 7—15 mii kilometri, dar uneori poate ajunge pînă la 50 000 km. În cazuri cu totul excepționale apar pete cu diametre considerabile. Astfel, în anul 1858 s-a observat o pată solară cu diametrul de circa 230 000 km care, de altfel, a fost un grup de pete solare. De asemenea, în anul 1947 s-a observat un grup de pete solare care se întindea pe o suprafață de 15 000 miliarde de kilometri pătrați. Petele cu diametrul mai mare de 40 000 km se pot vedea și cu ochiul liber, probabil despre astfel de pete se vorbește în unele cronici medievale. Pentru ca o pată să fie observabilă cu ajutorul lunetelor, ea trebuie să aibă un diametru de cel puțin 500 km.

După ce pata solară a ajuns la faza maximă de dezvoltare, ea rămîne constantă cîtva timp, apoi începe să dispară treptat. În acest timp, regiunea „întunecată" este invadată de materia luminoasă a fotosferei pînă cînd dispare complet orice urmă de pată.

Am arătat la începutul acestui paragraf faptul că Soarele are o rotație axială. Datorită acesteia, o pată solară poate fi observată pe partea de est a fotosferei, apoi pata va trece spre centru, va ajunge la marginea vestică a discului solar și va dispare. Uneori, după o rotație completă a Soarelui, pata respectivă poate să reapară la marginea estică și astfel să devină iarăși observabilă.

Din studii statistice s-a constatat că activitatea petelor solare, adică numărul acestora și suprafața ocupată de ele, variază ciclic cu o perioadă de circa 11 ani. Această „periodicitate" se numește *ciclul activității solare* și este foarte importantă deoarece odată cu variația petelor solare au loc și alte variații în modul de manifestare a activității solare.

Dacă pe discul solar nu apare nici o pată în decursul unei luni sau mai mult, fenomen rar, se spune că activitatea solară are un minim.

După ce a avut loc minimul activității solare, aceasta începe să se intensifice, iar după circa 4 — 5 ani se ajunge la maximul activității solare cînd numărul de pete este cel mai mare.

După minimul activității solare, primele pete apar la latitudinea heliografică de 40° iar în anii următori acestea au tendința de apropiere de ecuatorul solar. Astfel, după ce se scurg cei 11 ani, petele solare ajung să se manifeste la latitudinea de aproximativ 5°.

După cum se știe, activitatea solară are influență asupra unor fenomene care se desfășoară la suprafața Pămîntului. În acest sens putem aminti corelația care se presupune că ar exista între frecvența infarctelor și numărul de pete solare. Există perioade de timp în care mortalitatea printre anumiți oameni bolnavi crește simțitor. Deseori se produc decese în condițiile în care s-ar părea că nu există cauze vizibile care să le determine. La autopsia morților respectivi se constată totuși că au existat perturbații anatomice în mușchiul inimii și la vasele sanguine, fapt care arată că organismul respectiv a avut o anumită „pregătire" înainte de a se produce catastrofa.

Uneori se înregistrează „epidemii" de infarcte sau congestii cerebrale. Astfel, de exemplu, în ultimele cinci zile ale lunii ianuarie 1968, la o clinică sovietică, au fost înregistrate atitea infarcte, cîte se produceau de obicei într-o lună întreagă. Aceste catastrofe sînt puse în corelație cu faptul că la acel 28 ianuarie, cînd frecvența infarctelor era maximă, pe discul solar a apărut o pată mare. Deși nu se cunoaște exact mecanismul prin care petele solare determină „explozia" de infarcte, corelația amintită este foarte importantă și atrage atenția asupra unor chestiuni la care ar trebui să ne gîndim mai mult.

Din examinarea radiației radio a Soarelui pentru zilele de 27 și 28 ianuarie 1968, s-a constatat prezența unor intensități maxime care au fost corelate cu numărul de infarcte. Prin urmare, dacă se observă o pată mare undeva la marginea discului solar, rotația Soarelui fiind cunoscută, putem ști cînd pata respectivă va ajunge la meridianul central („mijlocul" discului solar), putîndu-se lua măsuri preventive pentru persoanele care ar fi sensibile la astfel de situații.

Avînd în vedere faptul că observarea petelor solare este un domeniu important în care astronomii amatori pot aduce contribuții substanțiale, prezentăm aici, pe scurt, modul practic în care se efectuează observații ale petelor solare.

Considerăm că astronomul amator dispune de o lunetă la ocularul căreia a fixat un ecran de proiecție (vezi fig. 2.12). Luneta cu ecranul sînt astfel orientate încît imaginea Soarelui să se proiecteze pe hîrtia albă de pe ecran. Apoi observatorul se așază pe un scaun situat alături și, din această poziție, cu mîna stîngă prinde ecranul iar cu mîna dreaptă desenează detaliile observabile pe discul solar care se proiectează pe ecran. În acest timp cu mîna stîngă deplasează încet luneta astfel încît fiecare detaliu de pe Soare să se proiecteze mereu în același punct al hîrtiei de pe ecran. Dacă există o mișcare de ceasornic munca observatorului este mult ușurată iar observațiile devin mult mai precise.

Prin urmare, desenînd un cerc cu diametrul egal cu diametrul imaginii solare de pe ecranul de proiecție, în fiecare zi putem obține cîte o diagramă cu petele solare, iar compararea mai multor diagrame din zile diferite ne poate conduce la rezultate interesante.

O primă analiză a observațiilor petelor solare duce la posibilitatea de a evalua numărul relativ, W, al lui Wolf. În

acest scop, pe diagrama pe care s-au desenat petele solare se numără toate grupurile de pete. Să notăm cu g numărul total al grupurilor și f numărul total de pete (atît izolate, cît și cuprinse în grupuri). Atunci, numărul relativ, W, se exprimă prin formula

$$W = 10g + f$$

Să considerăm situația în care pe discul solar se observă două grupe de pete, în fiecare grupă existînd cîte 9 pete. Ceva mai departe se mai observă 3 pete singuratice și undeva, alături, se mai pot număra 6 pori separați unul de altul. În cazul acesta, numărul total de pete va fi $f = 9+9+3+6 = 27$, în timp ce numărul de grupe este $g = 2+3+6 = 11$. Prin urmare, numărul relativ al lui Wolf devine

$$W = 10 \cdot 11 + 27 = 137$$

Comunicarea datei observației la care s-a obținut numărul relativ W constituie deja o contribuție la cercetarea statistică a activității solare. Tot în acest sens se mai pot aduce contribuții prin specificarea claselor în care se încadrează grupele de pete observate. Iată o clasificare mult utilizată în observațiile curente de pete solare.

I. Pori individuali,
II. Grupe de pori,
III. Pete individuale,
IV. O singură pată cu mai mulți pori,
V. Grupe bipolare cu pete mari, dispuse în sensul rotației solare,
VI. Grupe bipolare cu pete mici în față,
VII. Grupe bipolare cu pete aproape separate,
VIII. Grupe de pori cu mai multe centre,
IX. Grupe cu mai multe pete,
X. Cazuri deosebite.

Alte probleme legate de observarea petelor solare ar mai fi: determinarea suprafeței solare ocupate de pete, distribuția petelor după latitudinea heliografică, variația aspectului unor pete mai interesante etc.

Observații interesante se pot efectua și atunci cînd se fotografiază proiecția instantanee de pe ecranul solar.

ii) *Faculele fotosferice.* Am amintit mai înainte faptul că discul solar este mai puțin strălucitor spre margine decît în

centrul său. Acest lucru face posibilă observarea unui nou mod de manifestare a activității solare deoarece, în această parte mai puțin strălucitoare, pe fondul fotosferei, se pot observa niște nervuri mai luminoase numite *facule*.

Din cauza rotației discului solar, faculele vizibile spre marginea discului se apropie de centru și devin invizibile pentru ca să devină iarăși vizibile atunci cînd ele se apropie de marginea opusă a discului aparent.

Calculele statistice arată că și faculele au o activitate cvasi-periodică cu un ciclu tot de aproximativ 11 ani, fapt pentru care între facule și petele solare trebuie să existe o strînsă legătură.

Observarea faculelor este ceva mai dificilă, ea depinde atît de calitățile instrumentului utilizat, cît și de abilitatea observatorului.

iii) *Erupții cromosferice.* La 1 septembrie 1859 doi observatori situați în localități diferite — Carrington și Hodgeson — au văzut, independent unul de altul, apariția a două formațiuni circulare de străluciri mai mari decît strălucirea fotosferică. Aceste formațiuni se aflau la marginea unei pete solare și se deplasau repede și paralel una cu alta. Durata acestui fenomen a fost de aproximativ 5 minute. Apoi au fost observate și alte apariții asemănătoare, dar a căror durată era cuprinsă între 20 și 40 minute, rar ajungînd la cîteva ore. Prin urmare, este vorba de niște explozii de durată scurtă care au loc în straturile superioare ale cromosferei, fapt pentru care ele se numesc *erupții cromosferice.* Acestea se observă cel mai bine în liniile spectrale ale hidrogenului (H_α și H_β ale seriei Balmer) și în liniile notate H și K ale calciului ionizat, pe cînd la observațiile obișnuite (vizual prin ocular) observarea acestora este posibilă numai în cazuri excepționale.

Statistic, s-a stabilit existența unei corelații între erupțiile cromosferice și petele solare, erupțiile fiind legate de grupurile de pete. Erupțiile apar numai în regiunile în care se pot vedea și pete și au o distribuție asemănătoare pe discul solar.

Apariția erupțiilor cromosferice puternice în partea centrală a discului solar determină variații în proprietățile fizice ale ionosferei Pămîntului cu consecințele cunoscute asupra comunicațiilor radio.

iv) *Protuberanțele* sînt formațiuni de materie gazoasă cu un înalt grad de spectaculozitate. Ele se pot observa sub aspectul unor țîșnituri în atmosfera solară și se aseamănă cu anumiți nori luminoși din atmosfera terestră.

Protuberanțele au forma unor șuvoaie de apă care țîșnesc din fîntînile arteziene sau pot apărea ca niște limbi de foc care se înalță deasupra cromosferei. Acestea sînt mai puțin strălucitoare decît fotosfera și se pot observa numai în timpul eclipselor totale de Soare, sau cu ajutorul unui aparat special cunoscut sub denumirea de spectroscop de protuberanțe, cu ajutorul acestuia din urmă efectuîndu-se observații monocromatice în linia H_α a hidrogenului.

Existența protuberanțelor este cunoscută din vechime. Cu ocazia eclipselor totale de Soare ele apăreau ca un jeratic de cărbuni care ardea la marginea discului solar.

Din descifrarea inscripțiilor de pe mormintele Egiptului antic s-a ajuns la concluzia că protuberanțele solare erau cunoscute în acea epocă îndepărtată. Dar prima mențiune scrisă despre protuberanțe pare să fie aceea a lui Lavrentii în legătură cu eclipsa totală de Soare de la 1 mai 1185, vizibilă din Novgorod, descriere care, prin conținutul său, se aseamănă cu cele scrise în legătură cu apariția cometelor din epoca respectivă:

„În luna mai, zi întîi, ziua sfîntului prooroc Ieremia, miercuri, spre vecernie, a fost un semn pe Soare și mare întunecime a fost, de se vedeau și stelele, iar prin ochii omului totul părea verde și în Soare s-a ivit parcă o lună nouă din ale cărei coarne ieșea un fel de jăratec ca din cărbuni: era înfricoșător pentru om să vadă semnul lui dumnezeu".

Primele descrieri științifice, însă, sînt prezentate abia în secolul al 18-lea cu ocazia dărilor de seamă privind observarea eclipselor totale de Soare din anii 1706, 1733 și 1778, deși natura lor încă nu era bine cunoscută.

Astfel, în secolul al 18-lea, protuberanțele erau considerate ca erupții ale vulcanilor de pe Lună sau crestături în discul lunar prin care se mai putea observa lumina solară, sau unele miraje în „atmosfera" Lunii.

Pentru prima dată, în 1851, astronomul rus O.W. Struve de la Pulkovo (lîngă Leningrad) a efectuat măsurări micrometrice și a constatat că discul lunar se apropia de vîrful protuberanțelor. De aici a rezultat concluzia că protuberanțele nu sînt legate de Lună, ele fiind în strînsă legătură cu activitatea solară.

Studiul protuberanţelor solare este interesant pentru cunoaşterea detaliată a panoramei activităţii solare, astronomii amatori putînd aduce contribuţii serioase şi în acest domeniu.

Imaginile obţinute cu ajutorul aparatelor de filmat au pus în evidenţă atît modul de apariţie şi de dezvoltare a unei protuberanţe, cît şi felul în care se mişcă şi evoluează o formaţiune de acest fel.

Din aspectul înregistrat al protuberanţelor solare, s-au dedus condiţiile fizice care predomină în interiorul acestora. Astfel, din deplasarea liniilor spectrale s-au determinat vitezele radiale, adică viteza de deplasare în raport cu observatorul terestru.

Studiile efectuate asupra protuberanţelor solare au condus la mai multe clasificări ale acestora: eruptive şi liniştite, sau protuberanţe dependente şi independente de petele solare.

Clasificarea protuberanţelor, după caracterul lor de dezvoltare în eruptive sau liniştite, este foarte complicată deoarece unele protuberanţe liniştite, pe neaşteptate, se transformă în protuberanţe eruptive. De aceea, unii autori preferă clasificarea protuberanţelor după gradul lor de dependenţă faţă de petele solare.

Protuberanţele care nu depind de petele solare apar deasupra regiunilor liniştite ale discului solar. Au forma unor nori care se ridică deasupra cromosferei iar în unele cazuri există chiar şi anumite ramificaţii care fac legătura dintre ele şi cromosferă. O protuberanţă de acest tip apare mai întîi sub forma unui nor mic care se dezvoltă ulterior.

Protuberanţele care nu depind de petele solare pot avea întinderi mari în jurul Soarelui, ele se pot ridica de-a lungul cîtorva sute de mii de kilometri. Înălţimea acestora variază între 30 000 şi 50 000 km, uneori putînd ajunge pînă la 100 000 km. În cazuri cu totul deosebite se pot observa protuberanţe care ating chiar 600 000 km.

Acest tip de protuberanţe, nefiind legat de petele solare, poate fi observat în orice punct de pe discul solar.

Protuberanţele legate de petele solare apar deasupra regiunilor acoperite de pete, facule sau alte centre ale activităţii solare. Ele sînt caracterizate prin dinamism şi schimbări rapide. Acest tip de protuberanţe nu ating înălţimea pe care o ating protuberanţele din tipul precedent. La o anumită înălţime limită, protuberanţa care depinde de petele solare se opreşte brusc, iar materia respectivă începe a se lăsa în jos spre cromosferă. În timpul acestei căderi se formează condensări de materie care plutesc mult timp deasupra cromosferei.

Protuberanţele legate de petele solare nu sînt observabile în vecinătatea regiunilor polare unde nu apar nici petele, latitudinea maximă care delimitează zona de apariţie a acestor protuberanţe fiind $\pm 60°$.

În fine, prezentarea problemelor solare, în ultima parte a acestui capitol, se justifică prin faptul că Soarele se poate observa numai în timpul zilei, pe cînd celelalte corpuri cereşti au un regim nocturn de observare.

Capitolul 4

GALAXIA ÎN CENTRUL PREOCUPĂRILOR ASTRONOMILOR AMATORI

Aruncînd o privire asupra cerului înstelat într-o noapte senină și fără Lună, cu ușurință ne convingem că ne aflăm într-o lume de stele care ne înconjură din toate părțile. Dar, așa cum am amintit și în paragraful 3.3, observația atentă ne arată că există tendința de „înghesuire" a stelelor spre acea fîșie albicioasă care parcă vrea să împartă cerul în două emisfere. Este vorba de Calea Lactee despre care Galileo Galilei spunea că „nu este altceva decît o mulțime de stele nenumărate, grupate în același timp în roiuri. În orice parte a ei am îndrepta instrumentul, o mare mulțime de stele se prezintă imediat vederii. Unele dintre ele sînt ceva mai mari și mai luminoase, pe cînd numărul celor mai mici este imposibil de a fi determinat".

Pe bolta cerească, Calea Lactee trece prin constelațiile: Canis Major, Monoceros, Taurus, Gemini, Auriga, Perseus, Cassiopeia, Cepheus. În constelația Cygnus, Calea Lactee se împarte în două fîșii: una dintre acestea trece prin constelațiile Vulpecula, Sagitta, Aquilla și Sagittarius; cealaltă ramură trece prin constelațiile: Lyra, Ophiuchus și Scorpius.

4.1 Structura și dimensiunile Galaxiei [6], [9], [12], [25], [35]

În urma succesului cu privire la determinarea distanțelor stelare s-a putut întreprinde un studiu al repartiției stelelor în spațiu. De aici a rezultat concluzia că acea fîșie albicioasă — Calea Lactee — este un efect de perspectivă, aspectul ei fiind determinat de proiecția stelelor pe bolta cerească. Este vorba, deci, de sistemul nostru stelar care are forma unei lentile biconvexe și care se numește Galaxie, sau *Galaxia noastră*, pentru că mai încolo vom întîlni și alte galaxii asemănătoare cu ea.

Prin urmare, observatorul situat undeva în interiorul unui sistem stelar vede stele în toate direcțiile, dar numărul acestora este cu atît mai mare, cu cît mai mare este fracțiunea din sistemul respectiv în direcția în care se efectuează observația.

Dacă considerăm că Galaxia se întinde pînă acolo unde mai există cel puțin o stea pe un parsec cub, diametrul mare al sistemului nostru stelar este de circa 30 000 parseci, iar diametrul mic — grosimea — de numai 2 500 parseci. De aici rezultă faptul că luminii îi trebuie peste 100 000 ani pentru ca să traverseze Galaxia, în timp ce sistemul solar este traversat în numai 14 ore.

Planul care trece prin centrul Galaxiei și conține toate diametrele mari este un plan de simetrie și se numește *plan galactic*. Dreapta care trece prin centrul Galaxiei și este perpendiculară pe planul galactic este considerată *axă de simetrie*.

Soarele se găsește situat într-o poziție foarte apropiată de planul galactic, dar în raport cu axa de simetrie el se află la o depărtare de 10 mii parseci, ceea ce revine la circa 33 mii ani lumină.

Galaxia conține circa 200 miliarde stele și are masa de aproximativ $1{,}4 \cdot 10^{11}$ mase solare, aici fiind inclusă și materia interstelară.

În anul 1927, astronomul olandez J. Oort (n. 1900) a pus în evidență mișcarea de rotație diferențială a Galaxiei în jurul axei de simetrie, viteza de rotație micșorîndu-se de la centru spre periferie.

În vecinătatea Soarelui, Galaxia are o viteză de rotație care conduce la o rotație completă în decurs de 275 milioane ani, acest interval de timp reprezentînd durata anului galactic. Prin urmare, în toată existența sa de circa 5 miliarde ani, sistemul nostru planetar — sistemul solar — a efectuat doar 18 revoluții în jurul centrului galactic.

Vîrsta Galaxiei este apreciată la 10 — 14 miliarde ani.

Din analiza modului în care sînt distribuite stelele mai fierbinți și a materiei interstelare, s-a pus în evidență structura spirală a Galaxiei. Astfel, brațul care trece prin constelația Perseus se află la 2 mii parseci de la Soare, iar brațul local — brațul în care se află și Soarele — se numește brațul Orion deoarece, pe bolta cerească, el se proiectează în constelația cu același nume.

La propunerea lui W. Baade (1893—1960), la Adunarea Generală a Uniunii Astronomice Internaționale (Roma, 1952),

stelele din Galaxia noastră au fost grupate în următoarele subsisteme:

Populația I conține stele care prezintă o puternică concentrație spre planul galactic și mai ales în brațele Galaxiei. Printre obiectele acestei populații se găsesc stele tinere și fierbinți de clasele spectrale O și B — stele supergigante care jalonează brațele spirale, stele cu strălucire variabilă, roiuri deschise și materia interstelară. În general este vorba de stele tinere sau în curs de formare care, în spațiu, efectuează mișcări cu viteze mici și nu se îndepărtează prea mult de planul galactic. Aceste obiecte alcătuiesc *componenta plană* a Galaxiei.

Populația II conține obiecte care se pot găsi atît în vecinătatea planului galactic, cît și la mari depărtări de acesta, fapt pentru care obiectele respective alcătuiesc componenta sferică a sistemului stelar. Printre obiectele acestei populații amintim roiurile globulare, stelele subpitice galbene sau roșii, gigante roșii și o categorie de stele variabile a căror strălucire variază într-un mod asemănător cu variația de strălucire a stelei RR Lyrae.

Stelele din populația II au un conținut de metale mai redus decît cele din populația I, sînt cele mai bătrîne stele din Galaxie, pe cînd stelele din populația I sînt stele tinere în compoziția cărora au putut intra elemente grele a căror origine este presupusă a fi legată de exploziile unor supernove. Populația I conține stele din a doua generație.

Populația II nu conține materie interstelară în sensul obișnuit al cuvîntului, totuși radioastronomia a permis să se detecteze, recent, nori de hidrogen situați la mari distanțe de planul galactic, nori extrem de subțiri care sînt în curs de cădere spre nucleul galactic.

Populația mixtă este caracterizată prin aceea că obiectele cuprinse aici au o concentrare spre planul galactic, dar nu atît de puternică ca aceea a obiectelor din populația I. De aici fac parte stelele pitice galbene și roșii, stelele gigante galbene și roșii precum și stele variabile semiregulate și neregulate. Mișcarea stelelor respective se face pe orbite aproape circulare în jurul nucleului galactic, au viteze mici, iar abundența metalelor este asemănătoare cu abundența respectivă observată în cazul Soarelui.

În partea centrală a Galaxiei există un nucleu care a fost observat cu foarte mare greutate din cauza imensilor nori de praf și gaz interstelar care există în planul galactic, stelele

din nucleu fiind acoperite de acești nori. În 1947 și 1951, nucleul galactic a fost observat și s-a determinat diametrul lui de circa 1 300 parseci.

Cu ajutorul observațiilor radio și în infraroșu, în 1965 și 1968 s-a constatat că nucleul are o structură foarte complexă iar materia componentă se găsește aici la o temperatură înaltă și este supusă unor mișcări violente.

În cadrul materiei interstelare distingem următoarele componente:

a) *Gazul interstelar* care este repartizat neuniform în Galaxie. În unele locuri se formează nori cu densitate mult mai mare decît valoarea medie iar în alte locuri se produc rarefieri. Cu alte cuvinte, cu îndepărtarea de la planul galactic, densitatea medie a gazului interstelar scade foarte mult. Masa totală a acestuia este de 0,01 — 0,02 din masa totală a tuturor stelelor din Galaxie.

Zonele unde hidrogenul interstelar este neutru (H I) sînt distincte de zonele unde el este ionizat (H II) și nu există o trecere de la o zonă la alta. Volumul pe care-l ocupă hidrogenul ionizat în Galaxie este de circa 10 ori mai mic decît volumul ocupat de hidrogenul neutru.

b) *Praful interstelar* care este o componentă esențială a Galaxiei. Masa lui este de aproximativ 100 de ori mai mică decît masa totală a stelelor din Galaxie. De aceea, din punct de vedere dinamic, el nu are un rol prea important, în schimb joacă un rol deosebit de mare în lucrările de fotometrie stelară.

c) *Nebuloasele galactice* care sînt distribuite într-un disc subțire situat în planul galactic; vom reveni asupra acestora.

4.2. Observarea stelelor variabile în cadrul cercurilor de astronomi amatori [2], [4], [9], [30], [31], [32], [33], [34], [37].

În paragraful precedent am relatat despre obiectele care alcătuiesc Galaxia noastră; despre unele din acestea trebuie să spunem cîteva cuvinte suplimentare, mai ales dacă ne gîndim și la faptul că ele ar putea constitui subiecte de intensă preocupare pentru astronomii amatori din lumea întreagă. Printre astfel de obiecte amintim stelele care au strălucire variabilă, asupra cărora ne oprim în paragraful prezent; asupra altor categorii de obiecte din Galaxia noastră vom reveni în paragrafele următoare.

Observarea stelelor variabile de către astronomii amatori a jucat un rol important în istoria astronomiei, ea fiind deosebit de actuală şi în prezent. De curînd, Uniunea Astronomică Internaţională a recomandat o serie de probleme la rezolvarea cărora sînt solicitaţi să participe astronomii amatori, observarea stelelor variabile fiind inclusă printre primele probleme de acest fel. De altfel, istoria astronomiei cunoaşte mulţi astronomi celebri care şi-au făcut ucenicia de astronomi observînd şi stele variabile.

După cum se ştie, strălucirea stelelor este parametrul cel mai accesibil observaţiei noastre, iar modul spectaculos în care aceasta poate să varieze a dus pe astronomi la introducerea noţiunii de stea variabilă.

Iniţial, prin stea variabilă se înţelegea o stea la care s-au detectat variaţii în strălucire, dar, odată cu perfecţionarea mijloacelor de observare, această noţiune a primit un sens mult mai larg, cuprinzînd stele la care s-au observat variaţii ale diferiţilor parametri fizici.

Desigur, privite cu atenţie, s-ar părea că toate stelele au strălucirea variabilă, dar la definirea unei stele variabile nu se iau în considerare variaţiile cauzate de absorbţia luminii prin atmosfera terestră — la culminaţia superioară fiecare stea avînd o strălucire mai mare decît atunci cînd ea se găseşte undeva în apropiere de orizont.

Dacă ne fixăm atenţia asupra unei regiuni a bolţii cereşti şi notăm pe hîrtie stelele respective în ordinea creşterii sau descreşterii strălucirii lor, după o privire mai îndelungată se poate constata că o anumită stea se arată a fi mai „rebelă" şi nu-şi păstrează locul în secvenţa stabilită. O astfel de stea ar putea avea fluctuaţii în raport cu strălucirea celorlalte stele, de aici denumirea de stea variabilă.

În perioada de timp de cîteva mii de ani de la primele încercări conştiente ale omenirii de a studia bolta cerească şi pînă la mijlocul secolului al 17-lea al erei noastre, variaţiile strălucirilor corpurilor cereşti au fost observate numai întîmplător. Din această cauză, perioada respectivă poate fi considerată ca o etapă preistorică a cercetării stelelor variabile.

Cu toate că pe bolta cerească există stele variabile foarte luminoase, a căror strălucire variază destul de mult pentru a fi observate uşor cu ochiul liber, în prezent nu dispunem de documente din care să rezulte faptul că astronomii vechi s-ar fi interesat de stelele variabile. Foarte probabil că prima

stea variabilă a fost observată de către Hiparh în anul 134 î.e.n., eventual vreo stea nouă (o novă), motiv care l-ar fi determinat să întocmească un catalog stelar. Apoi, arabii în lungile lor călătorii prin pustiuri au observat variaţia strălucirii stelei β Persei pe care ei o numeau Al-Ghūl (ochiul satanei), denumire care s-a transformat în Algol. De altfel, arabii au împrumutat cunoştinţele de astronomie de la greci fără ca ei să fi adus o contribuţie deosebită în acest domeniu.

Probabil că particularităţile stelei Algol au fost cunoscute şi la alte popoare, dar în zilele noastre nu se ştie precis ce cunoşteau astronomii vechi despre Algol şi nici motivul pentru care arabii i-au atribuit un nume atît de misterios. Se pare că informaţiile care ar fi putut aduce lumină în problemele amintite mai sus au fost îngropate sub ruinele Bibliotecii din Alexandria.

Prima stea variabilă despre care avem date scrise este Mira Ceti (o Ceti), care a fost descoperită la 13 august 1596 de către astronomul D. Fabricius (1564—1617). Această descoperire este legată de nişte observaţii prin care se urmărea determinarea coordonatelor planetei Mercur. În acest scop, Fabricius folosea o stea de comparaţie de magnitudine aparentă m = 3 din Cetus, care, spre mirarea lui, nu era trecută pe atlasele stelare existente în acel timp. Această observaţie l-a determinat să acorde o atenţie mai mare stelei respective, fapt care i-a permis să constate că strălucirea ei era în continuă scădere. De aceea, Fabricius era convins că steaua observată era o „stea nouă" (o novă), dar pe la mijlocul lunii februarie din anul 1609, steaua a devenit iarăşi vizibilă cu ochiul liber. Pe urmă Fabricius o părăseşte şi se ocupă de alte probleme.[1]

În luna decembrie 1638, tînărul astronom Holwarda (1618 — 1651) redescoperă pe o Ceti şi constată că aceasta are strălucirea variabilă. El pune în evidenţă atît „apariţii", cît şi „dispariţii" ale acesteia.

Steaua o Ceti a mai fost văzută în anii 1641 şi 1648 de către alţi observatori, iar în anii 1659 şi 1682 este observată de către astronomul J. Hevelius (1611—1687), care i-a dat denumirea de „extraordinara" din Cetus — *Mira Ceti*.

[1] Steaua o Ceti este menţionată de Joh. Bayer în atlasul său *Uranometria* publicat în 1603.

În anul 1667, J. Boulliaud (1605—1694) pune în evidență perioada de variație a stelei Mira Ceti pe care o evaluează la 333 zile, adică o mărime destul de apropiată de 331,65 zile cît este durata cunoscută în prezent pentru perioada respectivă.

În legătură cu cauza variației observate a strălucirii stelei Mira Ceti, Boulliaud presupune că ar fi vorba de o repartiție neuniformă a luminii pe suprafața stelară. Din această cauză, rotația stelei ar face ca spre observator să fie orientate, la diferite momente, arii cu străluciri diferite. Era aceasta o ipoteză îndrăzneață pentru epoca respectivă, dar care este reluată în zilele noastre.

La sfîrșitul secolului al 18-lea, W. Herschel analizează datele observaționale existente pe un interval mare de timp și ajunge la concluzia că variația strălucirii stelei Mira Ceti este periodică, dar cu o serie de neregularități care, de altfel, au fost semnalate și de către Boulliaud. S-a constatat că perioada de variație a strălucirii oscilează între 310 și 370 zile, perioada medie fiind adoptată de 332 zile.

În privința limitelor între care se produce variația de strălucire a stelei Mira Ceti, s-a constatat că și acestea sînt variabile. Astfel la maximul care a avut loc în anul 1799, strălucirea lui Mira Ceti a ajuns la magnitudinea aparentă $m = 1{,}0$, iar la alte maxime strălucirea nu devenea mai mare decît $m = 5$, valoarea medie a strălucirii în maximul de strălucire fiind $m = 2$ sau $m = 3$. De asemenea și în minimul de strălucire se înregistrează valori diferite, valoarea medie fiind de circa 9 magnitudini aparente.

De la identificarea lui Mira Ceti și pînă în prezent au fost înregistrate cîteva mii de stele variabile, care au caracteristici asemănătoare. Unele dintre acestea sînt mai puțin strălucitoare și inaccesibile pentru observațiile cu ochiul liber, mai ales în faza de minim.

A doua stea variabilă, importantă și din punct de vedere istoric, este Algol (β Persei) care a fost observată în anii 1667—1669 de către astronomul și matematicianul italian Geminiano Montanari (1633—1687). În urma observațiilor sale, el ajunge la concluzia că strălucirea acestei stele variază între magnitudinile $m = 2$ și $m = 4$.

Cu 25 ani mai tîrziu, în anul 1694, J. Maraldi (1665—1729), la Paris, observă că steaua Algol are strălucirea variabilă, $m = 2$, $m = 3$ și $m = 4$. Apoi, variabilitatea acestei stele

este confirmată și de observațiile efectuate de un alt astronom, Kirch, (1630—1710) la Berlin. Cu toate acestea, caracterul variației strălucirii acestei stele nu va fi explicat decît peste mai bine de o sută de ani.

Primele cercetări sistematice referitoare la stelele variabile aparțin celei de a doua jumătăți a secolului al 18-lea cînd astronomia a înregistrat succese deosebite în urma rodnicelor cercetări inițiate de către W. Herschel. Astfel, doi tineri englezi, E. Pigott (1750—1807) și J. Goodricke (1764—1786), încep urmărirea sistematică a variației strălucirii stelelor.

J. Goodricke, un surdo-mut din naștere, la vîrsta de numai 18 ani, începe o serie de observații pe care le efectuează din grădina casei prietenului său, Pigott. Atenția sa este îndreptată asupra stelei Algol și, comparînd strălucirea acesteia cu strălucirea stelelor din jur, constată că, în cursul anilor 1782 și 1783, s-au produs 11 oscilații ale strălucirii corespunzătoare.

Tînărul Goodricke nu s-a mulțumit numai cu simpla observare a stelei Algol, ci a determinat și perioada de timp după care se repetă oscilațiile strălucirii. El a obținut $P = 2^z\,20^h\,49^m$ care este foarte apropiată de valoarea cunoscută în zilele noastre $P = 2^z\,20^h\,45^m\,55^s$. De asemenea, Goodricke constată că durata oscilației strălucirii — a variației luminii — este de nouă ore, iar în restul timpului de 2^z și 12^h strălucirea are valoarea maximă și constantă.

Foarte important este faptul că Goodricke încearcă să explice cauza variației strălucirii prin presupunerea că steaua Algol este alcătuită din două componente, care se mișcă în jurul centrului comun de masă și se eclipsează reciproc, fenomenul eclipselor fiind responsabil de variația strălucirii. Această ipoteză este corectă, iar steaua Algol este reprezentanta unei mari grupe de stele la care fenomenul eclipselor cauzează variații ale strălucirii.

La 12 mai 1783, J. Goodricke, prin intermediul lui W. Herschel, comunică rezultatele sale la Societatea regală, fapt în urma căruia Consiliul respectiv îi acordă una dintre cele mai mari distincții ale vremii.

La 10 septembrie 1784, Goodricke descoperă variabilitatea strălucirii stelei β Lyrae și, în aceeași noapte, prietenul său Pigott confirmă variabilitatea strălucirii stelei η Aquilae.

Apoi, peste o lună, Goodricke descoperă variația strălucirii stelei δCehpei.

Istorioare la fel de interesante s-ar putea povesti și despre alte stele; în mod deosebit sînt atrăgătoare relatările privind condițiile în care o serie de astronomi amatori au descoperit mai multe stele variabile.

Astăzi, catalogul general de stele variabile, editat de astronomii din Moscova, conține 20 437 stele variabile înregistrate pînă în anul 1968.

Pentru observarea sistematică a stelelor variabile, observatorul trebuie să știe să le identifice pe bolta cerească. În acest scop se utilizează un atlas stelar pe care, așa cum am mai amintit, stelele sînt notate cu literele minuscule grecești α, β etc. În anumite constelații s-au găsit stele variabile foarte strălucitoare pentru care s-a păstrat notația deja existentă. Astfel, de exemplu, avem β Persei, β Lyrae etc.

În cazul stelelor mai puțin strălucitoare, care, de obicei, nu au pozițiile notate pe atlasele stelare obișnuite, pentru desemnarea stelelor variabile se utilizează combinații ale literelor majuscule latine. Astfel, prima stea variabilă descoperită într-o constelație este notată cu litera R. De exemplu R Aquilae (steaua R din constelația Vulturul) a cărei strălucire variază între magnitudinile 5,7 și 12,0. Următoarea stea variabilă din constelația respectivă este notată cu litera S și așa mai departe pînă la Z. După ce s-au utilizat toate aceste litere, pentru alte stele variabile descoperite în aceeași constelație, se folosesc combinațiile de cîte două litere: RR, RS, ..., RZ; SS, ST, ..., SZ și așa mai departe, ultima combinație fiind ZZ. De exemplu, ZZ Cygni reprezintă steaua ZZ din constelația Cygnus (Lebăda).

Dacă, după utilizarea acestor 54 de combinații, într-o constelație se descoperă noi stele variabile, se încep combinațiile cu literele de la începutul alfabetului latin: AA, AB, ..., AZ; BB, BC, ..., BZ și așa mai departe, pînă la combinația QZ, cu omiterea literei J pentru a se evita eventualele confuzii cu litera I. Utilizînd toate combinațiile posibile indicate mai sus, se pot nota 334 stele variabile.

Dacă în anumite constelații, cum ar fi, de exemplu, Cygnus sau Sagittarius, stelele variabile sînt mult mai numeroase, combinațiile de mai sus sînt insuficiente pentru notarea stelelor respective. De aceea, în vederea notării unei noi stele variabile se utilizează litera V (variabila) urmată de numerele

care succed lui 334, adică V335, V336 etc. Astfel, după steaua QZ Cygni urmează steaua variabilă V335 Cygni.

Pentru observarea unei stele variabile trebuie să dispunem de un ceas la care să putem citi ora exactă cu o precizie de ordinul unui minut sau și mai bună și un receptor de lumină: ochiul pentru observațiile vizuale, placa fotografică (sau film) pentru observații fotografice și o celulă fotoelectrică sau un fotomultiplicator pentru observațiile fotoelectrice.

a) *Observarea vizuală a stelelor variabile*

Să presupunem că știm să ne orientăm pe bolta cerească. În această situație pe un atlas stelar localizăm poziția unei stele variabile și alegem o secvență de stele de comparație față de care urmează să evaluăm strălucirea stelei variabile. De exemplu, utilizînd fig. 1.9, putem alege stelele de comparație pentru steaua β Persei (Algol), în acest scop întocmim un tabel asemănător cu tabelul 4.1, unde m este magnitudinea aparentă a stelei respective.

TABELUL 4.1

Stelele de comparație pentru observarea stelei Algol

Steaua	m
Algol = β Persei	2,2—3,5
a = γ Andromedae	2,28
b = ζ Persei	2,91
c = ε Persei	2,96
d = β Trianguli	3,08
e = δ Persei	3,10
f = α Trianguli	3,58

Metoda vizuală de observare a stelelor variabile constă în aceea că, din timp în timp, se compară strălucirea stelei variabile cu aceea a stelelor de comparație. Acestea din urmă sînt astfel alese încît la orice moment să putem încadra strălucirea stelei variabile între strălucirile a două stele de comparație. În modul acesta la fiecare moment o stea de comparație va fi cu ceva mai strălucitoare decît steaua variabilă, iar altă stea de comparație trebuie să fie cu ceva mai puțin strălucitoare decît variabila. Secvența stelelor de comparație se

alege în timpul primelor serii de observații și se păstrează apoi nemodificată, aceasta putînd fi utilizată de mai multe generații de observatori. Astfel, de exemplu, scvența din tabelul 4.1 a fost stabilită de Cuno Hoffmeister (1892—1968) la începutul secolului nostru, ea putînd fi utilizată și în prezent.

Din punct de vedere observațional, stelele de comparație trebuie să aibă culoarea asemănătoare cu aceea a stelei variabile, strălucirea lor să fie constantă și să nu fie situate prea departe de poziția variabilei pe bolta cerească.

În cursul anilor, pentru observarea vizuală a stelelor variabile au fost elaborate mai multe metode, fiecare avînd atît avantaje, cît și dezavantaje. Noi prezentăm aici doar două dintre metodele vizuale, acestea îndeplinind condițiile în care stelele variabile se pot observa cu succes în cadrul unor cercuri de astronomi amatori.

i) *Metoda lui Argelander*

Pentru evaluarea diferenței de strălucire a două stele, Argelander a introdus noțiunea de *grad de strălucire (die Stufe)*. Printr-un astfel de grad, Argelander definește cea mai mică diferență de strălucire a două stele care poate fi percepută în mod sigur pe cale vizuală.

Să considerăm că avem de evaluat diferența de strălucire dintre stelele a (comparația) și v (variabila).

— Dacă privim în mod alternativ cele două stele și nu putem pune în evidență nici o diferență de strălucire, sau dacă atunci cînd privim steaua a ni se pare că ea este mai strălucitoare, dar dacă atunci cînd privim steaua v ni se pare că v este mai strălucitoare, spunem că între cele două stele avem zero grade de strălucire și scriem

$$a\ 0\ v \qquad \text{sau} \qquad v\ 0\ a.$$

— Dacă la prima vedere stelele a și v ni se par la fel de strălucitoare, însă după o privire mult mai atentă sau după mai multe treceri de la a la v și invers, steaua a apare aproape întotdeauna cu ceva mai strălucitoare decît steaua v, atunci spunem că steaua a este cu un grad mai strălucitoare decît steaua v, acest rezultat se scrie

$$a\ 1\ v,$$

întotdeauna steaua mai strălucitoare se scrie în față.

— Dacă steaua a apare neîndoielnic mai strălucitoare decît steaua v, această diferență fiind totuși foarte mică, scriem

$$a\ 2\ v$$

ceea ce înseamnă că a este cu două grade mai strălucitoare decît v.

— Dacă diferența de strălucire apare deja de la prima vedere și este cu ceva mai mare decît diferența din cazul precedent, adică dacă diferența de strălucire apare în mod limpede și este comparabilă cu diferențele precedente, scriem

$$a\ 3\ v \qquad \text{sau} \qquad v\ 3\ a$$

după cum a sau v este mai strălucitoare.

— Dacă diferența de strălucire dintre cele două stele comparate este mare și se constată acest lucru chiar de la prima vedere, scriem

$$a\ 4\ v.$$

Argelander recomandă să se evite utilizarea diferențelor mai mari de patru grade, în acest scop fiind nevoie de mai multe stele de comparație.

Aplicarea metodei lui Argelander la observarea stelelor variabile se face în modul următor. Se aleg două stele de comparație astfel încît una să fie mai strălucitoare, iar alta mai puțin strălucitoare decît steaua variabilă. Se compară strălucirea stelei variabile odată cu a și apoi cu b, obținînd de exemplu,

$$a\ p\ v \qquad \text{și} \qquad v\ q\ b,$$

unde p și q pot să aibă una din valorile 1, 2, 3 și 4. O astfel de comparație se scrie

$$a\ p\ v\ q\ b \qquad t$$

unde t reprezintă momentul observației respective.

Pentru notarea unei serii de observații întocmim un caiet în care trecem următoarele mărimi:

—La început scriem datele comune care nu se modifică într-un anumit interval de timp:

Data: ziua, luna și anul	25 iunie 1982
Denumirea stelei variabile	β Persei (Algol)

Instrumentul folosit	**Telescop școlar (Ø = = 15 cm)**
Ceasul pentru notarea timpului	Ceas de mînă Doxa
Alte date specifice	Lună în ultimul pătrar, nori la orizont etc.

Urmează apoi notarea observațiilor propriu-zise, după schema din tabelul 4.2

TABELUL 4.2

Datele observaționale ale unei stele variabile

Evaluarea	t (timp local)	Condiții de observație
$a\ 2\ v\ 3\ b$	23^h35^m	calitate bună
$a\ 1\ v\ 4\ b$	23^h40^m	nesigură
$a\ 1\ v\ 3\ b$	23^h45^m	poziție incomodă
$a\ 1\ v\ 4\ b$	23^h47^m	obosit
etc.		

Pentru a fi siguri de ora exactă, atît înainte de observații, cît și după încheierea lor, trebuie să ne comparăm ceasul cu semnalele de la radio sau robotul de la telefoane, acestea asigurînd ora exactă cu precizia necesară pentru scopul urmărit.

Prezentarea unei serii de observații după modelul arătat mai sus poate fi de mare utilitate pentru astronomii profesioniști, datele respective fiind suficiente pentru prelucrarea pe mai departe a materialului observațional.

Menționăm că pentru efectuarea unor observații bune, observatorul trebuie să fie odihnit, bine dispus (!) și mai ales să evite privirea la lumini puternice: becuri pentru iluminat, Lună Plină etc. O acomodare bună a ochilor se poate realiza privind cîteva minute la bolta cerească.

ii) *Modificarea metodei lui Argelander*

Atunci cînd nu dispunem de un număr suficient de mare de stele de comparație, observațiile se pot efectua și cu mai puține stele, chiar dacă intervalul de strălucire este mai mare decît acela care ar fi potrivit pentru aplicarea metodei lui

Argelander. De exemplu, dacă pentru un anumit interval de variație a strălucirii stelei dispunem numai de stelele a și b între care putem încadra steaua variabilă, atunci vom proceda în modul următor.

Dacă, de exemplu, strălucirea stelei variabile este puțin mai mică decît aceea a stelei a putem aplica metoda descrisă mai sus și să citim, de exemplu, $a\ 2\ v$; dacă steaua b este mult mai puțin strălucitoare decît steaua variabilă, v, nu se poate aplica metoda lui Argelander pentru intervalul (v, b) deoarece numărul de grade de strălucire ar fi mult mai mare de 4; în acest caz însă putem compara intervalul de strălucire (v, b) cu intervalul (a, v) și să evaluăm cam de cîte ori primul este mai mare decît cel de al doilea. În modul acesta putem găsi, de exemplu, $(v, b) = 3(a, v)$. Pe baza acestei constatări, evaluarea completă va fi scrisă sub forma

$$a\ 2\ v\ 6\ b \qquad t.$$

iii) *Construirea curbei de lumină.*

Am arătat mai sus că datele observaționale prezentate în forma indicată în tabelul 4.2 pot fi prelucrate de către astronomii profesioniști. Totuși, în cele ce urmează, pentru astronomii amatori mai ambițioși, descriem modul de prelucrare a datelor respective, cel puțin într-o primă fază. Este vorba de a construi o curbă de lumină care să oglindească modul de variație a strălucirii. În acest scop vom considera o stea variabilă la care s-au obținut mai multe observații pe care le scriem în primele două coloane ale tabelului 4.3.

Menționăm faptul că tabelul 4.3 servește numai ca exemplu de prelucrare a datelor observaționale. De aceea, aici nu sînt menționate: data, numele stelei, instrumentul utilizat etc.

Prelucrarea datelor observaționale din primele două coloane ale tabelului 4.3 o începem prin trecerea de la timpul local la cel universal și pentru aceasta, din momentele observate scădem 3 ore în conformitate cu programul orarului de vară, rezultatele astfel obținute fiind date în coloana a treia.

Gradele de strălucire care sînt date în coloana a 4-a au fost calculate din datele observaționale din prima coloană. În acest scop am procedat în felul următor.

TABELUL 4.3

Prima fază a prelucrării observațiilor în cazul unei stele variabile

Evaluarea	Momentul observației în timp local t	Momentul observației în timp universal t.u.	Numărul gradelor de strălucire g	Magnitudinea m
a 0 v 4 b	23h11m	20h11m	17,6	8,49
a 1 v 4 b	23h16m	20h16m	17,2	8,54
a 3 v 2 b	23h21m	20h21m	15,2	8,75
b 1 v 4 c	23h33m	20h33m	12,3	9,06
b 3 v 2 c	23h42m	20h42m	10,3	9,27
b 3 v 2 c	23h45m	20h45m	10,3	9,27
c 0 v 4 d	23h53m	20h53m	8,3	9,48
c 2 v 2 d	23h59m	20h59m	6,3	9,70
c 3 v 1 d	00h05m	21h05m	5,3	9,81
d 2 v 3 e	00h09m	21h09m	2,7	10,08
d 2 v 2 e	00h13m	21h13m	2,2	10,14
d 1 v 3 e	00h18m	21h18m	3,2	10,03

Mai întîi calculăm valoarea medie a fiecărui interval de strălucire cuprins între două stele de comparație,

$$a - b = \frac{4 + 5 + 5}{3} = 4{,}7; \qquad b - c = \frac{5 + 5 + 5}{3} = 5{,}0$$

$$c - d = \frac{4 + 4 + 4}{3} = 4{,}0; \qquad d - e = \frac{5 + 4 + 4}{3} = 4{,}3.$$

Dacă luăm un reper arbitrar, de exemplu, $e = 0$, putem construi următoarea scară pentru strălucirea stelelor de comparație, în grade de strălucire,

$$e = 0; \qquad d = e + 4{,}3 = 4{,}3; \qquad c = d + 4 = 8{,}3$$

$$b = c + 5 = 13{,}3; \qquad a = b + 4{,}7 = 18{,}0$$

Ținînd seamă de scara strălucirii stelelor de comparație, exprimată în grade de strălucire, putem determina acum strălucirea stelei variabile, după cum urmează.

Din evaluarea (observația) *a0v4b*, din prima linie a primei coloane putem scrie

$$v = a - 0 = 18 - 0 = 18 \text{ grade de strălucire,}$$

$$v = b + 4 = 13{,}3 + 4 = 17{,}3 \quad \text{“}$$

de unde, pentru strălucirea medie, avem

$$v = \frac{18 + 17{,}3}{2} = 17{,}6 \text{ grade,}$$

această mărime fiind scrisă în prima linie a coloanei a 4-a din Tabelul 4.3. Așa au fost obținute toate mărimile din coloana gradelor de strălucire.

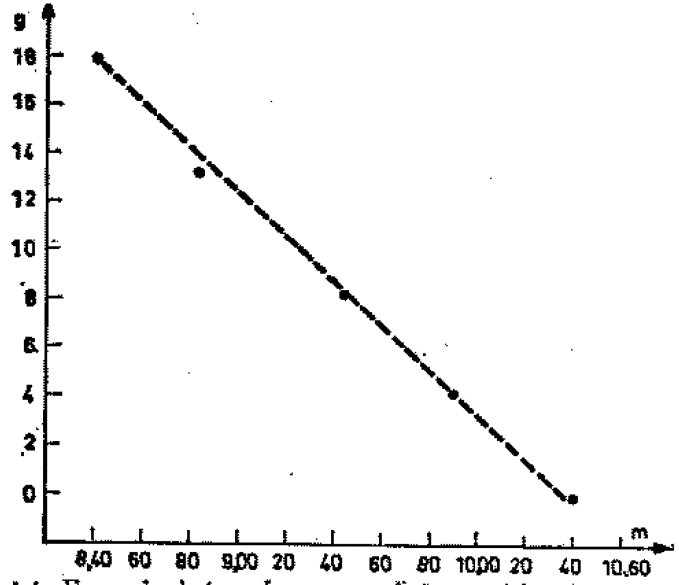
Dacă pe o hîrtie milimetrică reprezentăm gradele de strălucire, g, în funcție de timpul universal corespunzător, TU, obținem curba de variație a strălucirii — *curba de lumină*.

După cum am văzut mai sus, scara strălucirii stelelor de comparație a fost obținută din observațiile efectuate de către un singur observator, aceasta fiind exprimată în grade de strălucire. De aceea este vorba de o scară personală și poate să difere de la un observator la altul.

Pentru exprimarea scării de strălucire într-un sistem de unități impersonale, se utilizează magnitudinile vizuale aparente ale stelelor de comparație.

Să presupunem că o dată cu harta regiunii în care se află steaua variabilă și stelele de comparație, de la un Observator astronomic am obținut și magnitudinile vizuale corespunzătoare. Dispunem, în cazul acesta, pentru fiecare stea de comparație, de o valoare a strălucirii exprimată în grade, g, și de magnitudinea vizuală aparentă, m. În tabelul 4.4 am dat aceste mărimi, gradele de strălucire fiind calculate mai sus pe cînd magnitudinile au fost obținute de la Observatorul din Cluj-Napoca, acestea din urmă fiind determinate prin intermediul unui fotometru vizual.

În fig. 4.1 am reprezentat grafic gradele de strălucire (g) în funcție de magnitudinile vizuale (m), în conformitate cu tabelul 4.4. Am obținut astfel un grafic pe care, pentru orice



4.1. Exemplu de transformare grafică a gradelor de strălucire în magnitudini stelare.

g putem citi magnitudinea m. În acest fel, gradele g din coloana a 4-a (vezi tabelul 4.3) au fost transformate în magnitudini, iar rezultatele sînt date în ultima coloană a tabelului 4.3. Exprimarea lui m în funcție de TU ne dă o curbă de lumină care nu trebuie să difere prea mult de la un observator la altul.

TABELUL 4.4

Gradele de strălucire și magnitudinile stelelor de comparație

Steaua	g	m
a	18,0	8,41
b	13,3	8,84
c	8,3	9,42
d	4,3	9,90
e	0,0	10,40

O curbă de lumină este caracterizată prin *amplitudine* — diferența dintre strălucirea maximă și minimă —, iar intervalul de timp după care se repetă curba de lumină se numește *perioadă.*

Observații: — Dacă observațiile vizuale sînt efectuate prin lunetă trebuie ca steaua, pe care o privim, să se afle întotdeauna în centrul cîmpului vizual.

— Pentru începători recomandăm observarea unor stele variabile cu amplitudine mare și perioadă scurtă pentru ca fenomenul să fie sesizat cu ușurință.

— Pentru unele stele se pot prevedea momentele cînd au loc fazele cele mai importante pentru care se cer observații și din partea astronomilor amatori.

— În stadiul de inițiere este recomandabil a se lucra în colectiv sau sub îndrumarea unui observator experimentat.

b) *Observarea fotografică a stelelor variabile*

Atunci cînd pentru observarea stelelor variabile se folosesc plăci fotografice sau filme, observatorul obține imagini ale regiunii fotografiate pentru diferite momente. Ulterior, în condiții de laborator, imaginile respective pot fi examinate exact în modul în care este examinată bolta cerească în cadrul observațiilor vizuale, adică se poate utiliza una din metodele expuse mai sus — metoda lui Argelander sau varianta modificată a acesteia. De aceea, într-o primă aproximație, am putea considera că deosebirea dintre metoda vizuală și cea fotografică constă în obținerea clișeelor respective. Apoi, un observator mai ambițios ar putea utiliza microfotometre în scopul citirilor înnegririlor de pe plăcile fotografice, astfel de aparate putînd fi împrumutate de la anumite laboratoare de fotometrie sau spectrofotometrie.

c) *Observații fotoelectrice*

În cazul în care ocularul lunetei sau telescopului este înlocuit cu o celulă fotoelectrică sau un fotomultiplicator (vezi fig. 2.11), lumina care vine de la stele cade pe o fotocatodă și produce un curent fotoelectric slab, dar care poate fi înregistrat la voltmetre cu cadran sau pe o bandă care se derulează — înregistrare grafică. În astfel de cazuri se obțin valori numerice sau grafice atît pentru steaua vari-

abilă, cît și pentru stelele de comparație. Apoi, prin calcule simple, se realizează trecerea de la citirile respective la magnitudini stelare.

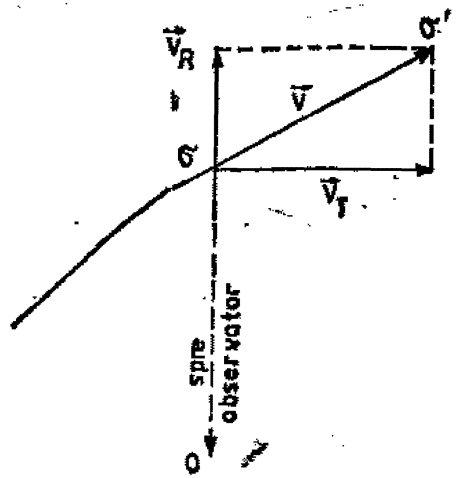
d) *Observații spectroscopice*

Prin metodele spectroscopiei stelare (vezi fig. 2.10) se pot obține informații referitoare la modul de evoluție al tipului spectral și să se determine vitezele radiale din care să se deducă alte informații.

Menționăm aici faptul că mișcarea spațială a unui corp ceresc se poate descompune în două componente, așa cum se vede și pe fig. 4.2. Aici $\overrightarrow{\sigma\sigma'}$ este viteza cu care steaua σ se deplasează în spațiu, $\vec{V}_R$ este proiecția ei de-a lungul razei vizuale 0σ, iar $\vec{V}_T$ reprezintă proiecția corespunzătoare pe direcția perpendiculară la raza vizuală. Prin urmare, viteza spațială $\vec{V}$ se poate descompune în viteză radială, $\vec{V}_R$, și viteză tangențială $\vec{V}_T$, viteza radială determinîndu-se din măsurarea deplasării liniilor spectrale — efectul Doppler.

Observații:

— Avînd în vedere faptul că în cuprinsul expunerii de pînă acum ne-am adresat astronomilor amatori cu mai



4.2. Componentele radială și tangențială ale vitezei.

puțină experiență, nu am insistat mai mult asupra ultimelor trei metode de observare a stelelor variabile.

— Dacă dispunem de observații efectuate în cursul mai multor nopți, se pot alcătui curbe medii din care să rezulte date observaționale de mare încredere. Din astfel de informații se determină durata perioadei medii, eventualele modificări ale acesteia în decursul timpului, aspectul curbei de lumină, tipul spectral, vitezele radiale etc.

e) *Clasificarea stelelor variabile*

După felul în care se schimbă anumiți parametri fizici, stelele variabile se pot grupa în mai multe clase. Astfel, de exemplu, dacă se urmărește mecanismul care determină variația strălucirii avem: *stele variabile optic* sau *stele pseudo-variabile* și *stele variabile fizic* sau *variabile intrinseci*. Stelele variabile optic se caracterizează prin aceea că strălucirea lor depinde de anumite poziții particulare pe care ele le pot avea în raport cu observatorul terestru, pe cînd strălucirea variabilelor intrinseci este cauzată de modificările survenite la suprafața sau în interiorul stelei.

i) *Stele pseudo-variabile*

Dacă o stea oarecare are forma unui elipsoid, din cauza mișcării sale de rotație axială, ea va prezenta spre observator o suprafață variabilă în timp. Prin urmare, lumina care vine spre observator fiind dependentă și de aria orientată spre acesta, se va prezenta ca o funcție de timp. Este vorba de stele elipsoidale a căror formă este scoasă în evidență de aspectul curbelor de lumină corespunzătoare. Cercetarea unor astfel de obiecte este mai puțin accesibilă astronomilor amatori deoarece variațiile observate ale strălucirii sînt relativ mici.

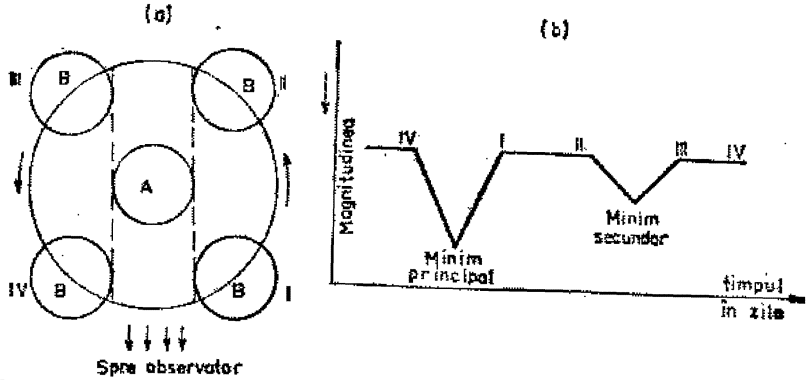
Un alt grup de stele pseudo-variabile îl constituie *stelele duble fotometrice*. Acestea sînt sisteme alcătuite din cîte două stele care se mișcă pe orbite proprii în jurul centrului comun de masă. Pentru simplificare însă se presupune că steaua secundară — steaua mai puțin masivă — se mișcă pe o orbită relativă în jurul stelei cu masă mai mare — componenta principală.

Atunci cînd planul orbitei stelei secundare trece prin apropierea liniei de vizare (direcția observator-stea) sau conține această linie, observatorul vede cele două componente eclip-

sîndu-se reciproc. Datorită acestui fapt la observator ajung, la momente diferite, cantități diferite de lumină și astfel sistemul respectiv, care din cauza depărtării mari se vede ca o singură stea, va apare observatorului ca o stea cu strălucire variabilă.

Datorită faptului că variația strălucirii unor obiecte de felul celor amintite aici este cauzată de fenomenul eclipselor, astfel de stele au fost numite *stele duble fotometrice* sau *stele duble cu eclipse.*

În fig. 4.3 este prezentată schematic mișcarea orbitală și variația strălucirii în timp, adică curba de lumină pentru o stea dublă cu eclipse. În punctul IV de pe fig. 4.3a componenta secundară, în mișcarea sa orbitală, se apropie de linia de vizare și începe să acopere discul aparent al componentei principale, aceasta din urmă fiind steaua cea mai strălucitoare. Prin urmare, o parte din lumina care vine de la componenta principală se lovește de componenta secundară și nu poate ajunge la observator. Strălucirea aparentă a sistemului începe să scadă pînă cînd are loc eclipsa totală care corespunde fazei maxime a eclipsei respective. În acest timp strălucirea ajunge la valoarea sa minimă — *minimul principal.* Apoi urmează ieșirea din eclipsă fapt care determină o creștere a strălucirii pînă la punctul I. Între I și II cele două componente nu se mai eclipsează, lumina de la ele vine nestingherită spre observator, curba de lumină indicînd o strălucire constantă. Între II și III are loc eclipsarea stelei mai puțin strălucitoare,



4.3. Mișcarea orbitală și curba de lumină a unei stele duble fotometrice cu componente sferice.

curba de lumină atinge *minimul secundar* (vezi fig. 4.3b). Intervalul de timp dintre două minime succesive și de același fel se numește *perioadă* și reprezintă timpul în care componenta secundară parcurge orbita sa relativă.

Dacă minimul secundar se găsește exact la o jumătate de perioadă față de minimul principal, orbita respectivă este circulară, altfel avem de-a face cu orbite eliptice (excentrice) care vor complica mult cercetările, dar observațiile efectuate vor servi la rezolvarea unor probleme deosebit de importante legate de structura fizică a componentelor respective. Iată deci un domeniu de mare importanță astrofizică în care astronomii amatori au avut și mai au încă contribuții deosebit de importante.

Pe plan mondial, cercetarea stelelor duble fotometrice este coordonată de Comisia nr. 42 a Uniunii Astronomice Internaționale din care fac parte și astronomi români. Această comisie a recomandat cercurilor de astronomi amatori să observe stelele duble fotometrice și să determine momentele la care au loc strălucirile minime. În Elveția apare un buletin al astronomilor amatori din diferite țări (europene), aici fiind publicate rezultatele observaționale. Acest buletin este foarte mult utilizat și citat de către astronomii profesioniști care se ocupă de variația perioadelor stelelor variabile.

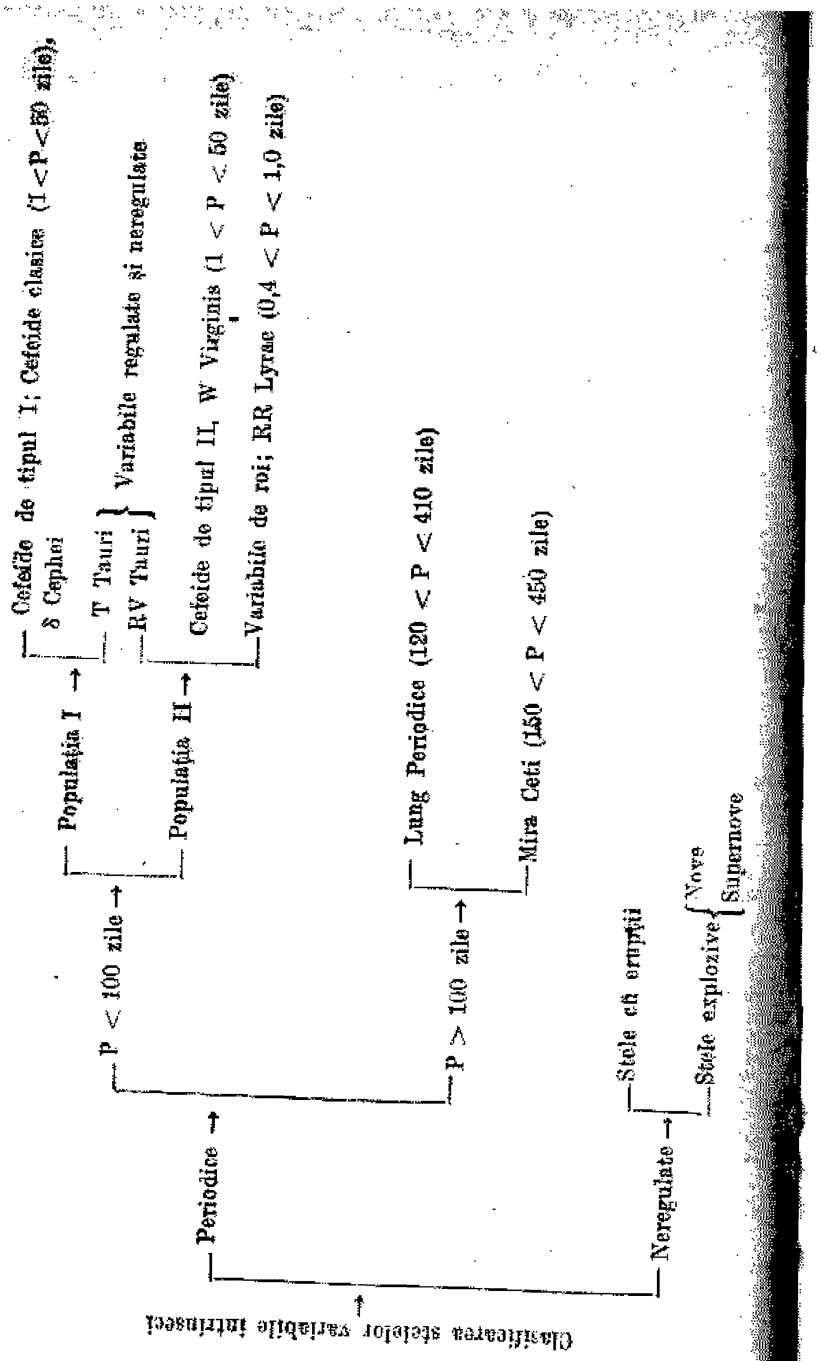
ii) *Stele variabile fizice — Variabile intrinseci*

În cazul stelelor variabile intrinseci variația strălucirii este determinată de anumite procese fizice complexe care se desfășoară în atmosferele stelare sau chiar în straturile interioare. Din acest motiv, variațiile observate la astfel de stele pot avea un caracter mai mult sau mai puțin regulat, fapt pentru care se disting aici două sub-clase: *stele variabile regulate* sau *periodice* și *stele variabile neregulate* sau *aperiodice.*

O clasificare amănunțită a stelelor variabile intrinseci este dată alăturat (vezi pagina 162).

Din punct de vedere al condițiilor care stau la baza variației strălucirii stelelor variabile intrinseci, cea mai numeroasă grupă este aceea a stelelor care pulsează, dintre acestea marea majoritate o constituie cefeidele.

Cefeide de tipul I — Cefeide clasice. Cefeidele reprezintă cel mai studiat grup de stele pulsante, denumirea lor provenind de la steaua δ Cephei — prima stea variabilă observată din această grupă, descoperită cu aproximativ două sute de



ani în urmă. Strălucirea stelelor din această clasă suferă oscilații periodice, perioadele respective fiind cuprinse între 1 și 50 zile, dar marea majoritate a stelelor de acest tip au perioadele cuprinse între 2 și 4 zile. Curbele de variație ale strălucirii sînt asimetrice, creșterea avînd loc mult mai rapid decît descreșterea. Stelele din acest grup se mai numesc și cefeide clasice sau cefeide de tipul I.

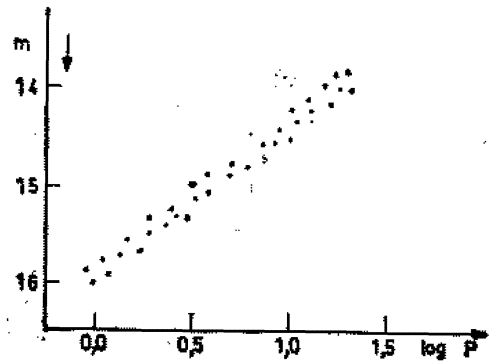
În Galaxia noastră există peste 600 cefeide clasice care sînt dispuse în planul discului galactic. Ele constituie un mijloc de neînlocuit pentru explorarea Căii Lactee și împreună cu stelele de tipul T Tauri aparțin la *Populația I*.

Stelele variabile din populația II sînt de tipul RV Tauri, *cefeide de tipul II* și stele variabile de tipul variabilelor din roiuri sau de tipul RR Lyrae.

Stelele de tipul RR Lyrae au perioadele cuprinse între 0,4 și 1,0 zile. Ele sînt stele gigante albe cu luminozitate de circa 50 de ori mai mare decît luminozitatea solară. Magnitudinea lor absolută este $M = +0{,}5$.

La începutul secolului nostru, Miss Henrietta Leavitt de la Observatorul Colegiului din Harvard a constatat că magnitudinile absolute ale stelelor cefeide din Norul Mic al lui Magellan (constelația sudică Tucana) erau corelate cu perioadele după care se repetă variația strălucirii. Această constatare a rezultat în urma reprezentării grafice asemănătoare cu aceea din fig. 4.4.

Dacă admitem că o cefeidă reprezintă un anumit tip de stea și că ea are aceleași particularități fizice independent dacă se găsește în Galaxia noastră sau undeva mai departe,



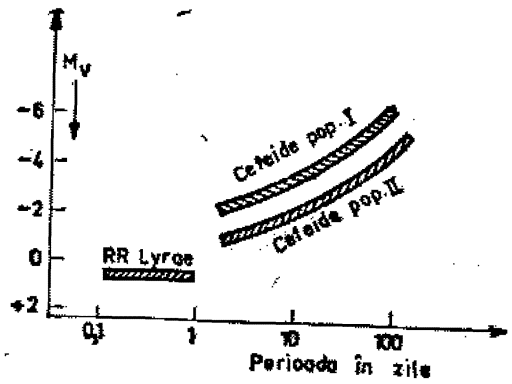
4.4. Relația perioadă luminozitate dedusă de Miss H. Leavitt.

putem admite legătura dintre distanța în parseci, d, și paralaxa în secunde de arc, p'', ca fiind dată de relația

$$d = \frac{1}{p''}$$

Prin urmare, pentru o cefeidă din Galaxia noastră, prin metode obișnuite, putem determina paralaxa și, prin aceasta, distanța în parseci. Aceasta din urmă o înlocuim în formula (1.12) și determinăm magnitudinea absolută, M, magnitudinea aparentă m fiind cunoscută din datele observaționale. În aceste condiții, pentru o anumită cefeidă dispunem de mărimea $\log P$ (perioada este cunoscută din observații) și magnitudinea absolută, M, determinată prin intermediul formulei (1.12), pe care le reprezentăm pe graficul conceput de Leavitt. Între punctul astfel obținut, $M = f(\log P)$, și punctul de pe diagramă care corespunde aceluiași $\log P$ va exista o diferență $M - m$ care ne arată cu cît trebuie să deplasăm diagrama Leavitt pentru ca în ordonată să trecem de la magnitudinile aparente la cele absolute. Este vorba de calibrarea funcției $M = f(\log P)$. În acest mod se ajunge la concluzia că există cel puțin trei relații $M = f(\log P)$, fiecare diagramă de acest fel corespunzînd unui anumit tip de stele pulsante. În fig. 4.5 sînt reprezentate relațiile perioadă-luminozitate [$M = f(\log P)$] pentru stelele RR Lyrae, cefeide din populația I și cefeide din populația II.

Importanța relațiilor perioadă-luminozitate constă în aceea că ele ne permit să determinăm distanțele pînă la sistemele stelare care sînt situate undeva mult mai departe



4.5. Relația perioadă luminozitate pentru stelele RR Lyrae, Cefeide din populația I și Cefeide din populația II.

decît distanța pînă la care se află periferia Galaxiei noastre. În acest scop, din observații se determină perioada, P, și magnitudinea aparentă pentru mai multe stele de același tip dintr-un sistem stelar îndepărtat, se construiește graficul $m = f(\log P)$, se calibrează graficul obținut prin intermediul unei stele de același tip, dar la care se cunosc mărimile P și M și se trece de la m la M. Apoi se determină distanța folosind formula (1.12).

Astronomul amator poate observa unele cefeide mai strălucitoare, datele astfel obținute fiind utile pentru examinarea relațiilor din fig. 4.5. Se pot efectua multe exerciții pentru determinarea distanțelor unor sisteme stelare îndepărtate, datele observaționale putînd fi procurate și din literatura de specialitate. Prin urmare, aici există un domeniu de activitate intensă chiar și pentru acei amatori care nu pot efectua observații propriu-zise.

Pentru a veni în ajutorul astronomilor amatori care ar dori să observe stele variabile, am inclus în tabelul 4.5 cîteva stele variabile mai strălucitoare, observabile din România. Am urmărit ca variația de strălucire să fie destul de mare pentru a fi sesizabilă chiar și de amatorii mai puțin inițiați, variația să fie sesizată într-un timp relativ scurt (perioadă mică), iar la minimul de strălucire să nu fie mai slabe de magnitudinea 10.

În primele trei coloane ale tabelului 4.5 sînt date denumirea stelei și coordonatele ei raportate în timpul anului 1900. În coloana a 4-a se află tipul la care aparține steaua respectivă: C = stea pulsantă (cefeide, RR Lyrae, W Virginis etc.), SR = stea variabilă semiregulată, EA = stea dublă fotometrică de tipul Algol (β Persei), EB = stea dublă fotometrică de tipul β Lyrae și EW = stea dublă fotometrică de tipul W Ursae Majoris.

În coloanele 5 și 6 sînt trecute magnitudinile la maximul și respectiv minimul de strălucire, m_{max} și m_{min}. Coloanele 7 și 8 conțin epoca inițială, T_0, exprimată în zile iuliene și perioada exprimată în zile sau fracțiuni de zi. În fine, în ultima coloană se află tipul spectral, semnul minus arătînd existența unui spectru variabil, pe cînd semnul plus arată existența a două spectre observabile și care corespund celor două componente din care este alcătuită steaua respectivă.

Revenind la coloana 7 trebuie să specificăm aici faptul că atît pentru prognoza strălucirii stelelor variabile, cît și

TABELUL 4.5

Stele variabile

Steaua	α_{1900}	δ_{1900}		m_{max}	m_{min}	Epoca 24.....	Perioada în zile	Spectrul
KO Aql	18h42m28s	+10°39'	EA	8,3	9,3	33888,366	2,863954	AO
V337 Aql	18 58 58	—02°11'	EB	8,7	9,7	18110,788	2,73389	BOV
V450 Aql	19 28 50	+05°15'	SR	7,0	8,9	31320.0	64,20	M8
V822 Aql	19 26 04	—02°19'	EA	6,7	7,1	29779,30	2,6477	B2
η Aql	19 47 23	+00°45'	C	4,08	5,36	32926,749	7,176641	F6I—G2I
RT Aur	06 22 08	+30°33'	C	5,48	6,64	20957,466	3,728961	F5 — GOI
WW Aur	06 25 56	+32°32'	EA	5,7	6,43	32945,539	2,52501922	A7V+A7V
AR Aur	05 11 44	+33°40'	EA	5,82	6,49	26742.434	4,13466057	B9V+B9V
RZ Boo	13 51 34	+26°25'	EA	7,0	7,8	30868,650	4,991749	FO+FO
i Boo	15 00 27	+48°03'	EW	6,5	7,10	39370,422	0,26781419	G1+G1
RS CVn	13 05 59	+36°28'	EA	8,4	9,92	25249,028	4,797871	F4V+KOIV
RZ Cas	02 39 54	+69°13'	EA	6,38	7,98	37143,989	1,1952472	A2V
SU Cas	02 43 03	+68°28'	C	6,37	6,98	37645,789	1,949298	F5I—F7I
TV Cas	00 13 55	+58°35'	EA	7,3	8,39	20117,745	1,81261036	AO
YZ Cas	00 39 02	+74°27'	EA	5,6	6,01	28783,422	4,467224	A3
U Cep	00 53 25	+81°20'	EA	6,63	9,79	3829[illegible],502	2,493041	B8V+G8III
GK Cep	21 29 42	+70°23'	EB	6,9	7,5	38225,686	0,936171	AOV+AOV
δ Cep	22 25 27	+57°54'	C	3,90	5,09	27628,86	5,366341	F5I—G2I
o Cet	02 14 18	—03°26'	M	2,0	10,1	38457	331,65	M5—M9
UCrB	15 14 07	+32°01'	EA	7,04	8,35	16747,964	3,45220416	B5+A2
W Cyg	21 32 15	+44°56'	SR	6,8	8,9	30684	130,85	M4—M6
X Cyg	20 39 29	+35°14'	C	6,65	8,39	25789,90	16,3866	F7I—G8I
Y Cyg	20 48 04	+34°17'	EA	7,2	7,8	00534,320	2,9963331	BOIV+BOIV
RS Cyg	20 09 46	+38°26'	SR	6,5	9,3	37030	418,0	NO
SU Cyg	19 40 48	+29°01'	C	6,87	7,95	33095,911	3,845678	FO—G1
V382 Cyg	20 15 01	+36°02'	EB	9,01	9,79	32172,644	1,885504	07—08

EU Del	20h33m21s	+17°55'	SR	6,0	6,9	35794	59,5	M6III
AI Dra	16 54 00	+52°51'	EA	7,2	8,2	39057,412	1,19881359	B9
W Gem	06 29 14	+15°25'	C	6,6	7,38	37627,34	7,91413	F6—G5
RX Her	18 26 01	+12°33'	EA	7,26	7,89	33170,398	1,7785724	AO+AO
TX Her	17 15 27	+42°00'	EA	8,33	9,08	30325,202	2,059810	A4+A4
AK Her	17 09 29	+16°28'	EW	8,83	9,32	36757,660	0,42152502	F2+F6
u Her	17 13 38	+33°13'	EB	4,6	5,28	05830,030	2,0510270	B3III+B5III
Y Lac	22 05 18	+50°33'	C	8,76	9,50	18424,308	4,323788	F5—F5
Z Lac	22 36 55	+56°18'	C	7,91	8,93	34575,78	10,88583	F6I—G6I
AR Lac	22 04 38	+45°15'	EA	6,87	7,69	26624,378	1,983216	G5+KO
CM Lac	21 56 03	+44°04'	EA	8,53	9,57	27026,316	1,6046916	A2+A8
R Lyr	18 52 18	+43°49'	SR	3,9	5,0	35920	46,0	M5III
RR Lyr	19 22 16	+42°35'	C	7,20	8,57	38241,460	0,5668054	A8—F7
β Lyr	18 46 23	+33°15'	EB	3,4	4,20	38605,593	12,9081434	B8+B6
U Oph	17 11 27	+01°19'	EA	5,88	6,58	08279,641	1,6773460	B4+B5
EE Peg	21 35 07	+08°44'	EA	6,9	7,57	34622,632	2,6282	A4V
DM Per	02 18 56	+55°39'	EA	7,71	8,48	33251,693	2,727728	B6V
β Per	03 01 40	+40°34'	EA	2,13	3,40	39479,647	2,86739	B8V+G8III
U Sge	19 14 26	+19°26'	EA	6,31	9,92	29111,323	3,3806184	B9+G2
SZ Tau	04 31 26	+18°20'	C	7,13	7,74	37626,21	3,14887	F5I—F9I
CD Tau	05 11 36	+20°01'	EA	7,0	7,6	26793,353	3,43515	F2+F2
HU Tau	04 32 22	+20°29'	EA	6,0	6,8	25641,285	2,056297	B9
λ Tau	03 55 08	+12°13'	EA	3,5	4,0	35089,204	3,952955	B3V+A4IV
W UMa	09 36 44	+56°25'	EW	8,3	9,06	38792,712	0,33364667	F8+F8
TX UMa	10 39 27	+46°06'	EA	7,06	8,76	39193,310	3,063243	B8+F2
W Vir	13 20 52	—02°52'	C	9,51	10,7	32697,783	17,2736	FOI—GOI
AG Vir	11 55 56	+13°34'	EB	8,77	9,36	35561,2941	0,64264787	A2+A2
T Vul	20 47 13	+27°53'	C	5,43	6,09	37939,60	4,435578	F5I—GOI
Z Vul	19 17 32	+25°23'	EA	7,38	9,20	25456,117	2,454926	B5V+A2III
RS Vul	19 13 25	+22°16'	EA	6,9	7,64	32808,257	4,4776635	B5V+A2
SV Vul	19 47 25	+27°12'	C	6,73	7,76	38268,9	45,035	F7I—KOI
DR Vul	20 09 36	+26°27'	EA	8,6	9,3	30903,360	2,250844	B8

pentru construirea unor curbe medii, în cadrul cercetării stelelor variabile se obișnuiește a se exprima timpul în zile iuliene. În acest scop momentele respective se exprimă în timp universal care, așa cum am mai amintit, la noi în țară este timpul legal minus 2 ore în orarul de iarnă și minus 3 ore în orarul de vară. Eventual am putea avea un ceas care să fie astfel reglat încît el să indice timpul universal. Apoi, rezultatul obținut se exprimă în fracțiuni de zi (vezi anexa II) și se adună la numărul de zile scurs de la zero ianuarie al anului 4713 î.e.n. și pînă în ziua cînd a fost efectuată observația respectivă. În anexa I sînt reproduse zilele iuliene corespunzătoare zilei zero a fiecărei luni pentru orele 12 (miezul zilei) timp universal.

Coloanele 7 și 8 servesc la stabilirea prognozei minimelor sau maximelor de strălucire ale stelelor respective. Astfel, pentru stelele duble cu eclipse strălucirea minimă va fi atinsă la epoca inițială T_0 plus un număr întreg de perioade, P, adică

$$T_E = T_0 + PE$$

unde E este un număr întreg de perioade sau de epoci.

Menționăm aici faptul că data iuliană a fost introdusă de către J.J. Scaliger la sfîrșitul secolului al 16-lea.

Pentru a ilustra aplicarea practică a indicațiilor de mai sus, vom considera cazul stelei Algol pentru care, din coloanele 7 și 8 ale tabelului 4.5 avem

$$T_E = \text{DJ}2439479{,}647 + 2^{z}{,}86739\ E\ .$$

Din anexa I se constată că pentru ziua de 1 mai 1984, orele 12 timp universal, avem data iuliană DJ2445822, iar expresia de mai sus, pentru $E = 2\,212$, ne conduce la data iuliană DJ2445822,314.

Așadar, steaua Algol va avea un minim de strălucire în ziua de 1 mai 1984, la 0,314 zile după miezul zilei timp universal.

Cu ajutorul datelor din anexa II constatăm imediat că $0{,}314\ z = 7^h32^m$, astfel că un minimum de strălucire al stelei Algol (β Persei) va avea loc în data de 1 mai 1984, la $12^h + 7^h32^m = 19^h32^m$ TU.

În cadrul orarului de vară, momentul respectiv devine 22^h32^m, ceea ce înseamnă că minimul respectiv are loc la

începutul serii, el putînd fi observat numai pe ramura ascendentă a curbei de lumină.

Cînd cercetăm stelele variabile, spunem că o stea variabilă este periodică dacă curba de lumină se repetă după un anumit interval de timp numit perioadă, P. Periodicitatea unei stele variabile se pune în evidență cu multă ușurință, durata perioadei putînd fi determinată cu mare precizie.

După cum se știe, curbele de lumină se prezintă sub aspecte foarte diferite. Ele pot avea puncte de maxim sau minim prin intermediul cărora se poate determina durata perioadei. În unele cazuri se pot determina mai multe perioade, curba de lumină fiind un rezultat al suprapunerii mai multor funcții periodice care depind de cîte o singură perioadă.

Dacă o curbă de lumină are minimele bine puse în evidență, cum este cazul stelelor duble cu eclipse, sau există maxime bine determinate cum este cazul stelelor pulsante, putem stabili o efemeridă care să stea la baza prognozei variației de strălucire. Pentru aceasta, fie $t_{\text{max., min.}} = t_0$ momentul pentru care se determină magnitudinea $m_{\text{max., min.}}$ (magnitudinea maximă sau minimă). Fără a face alte precizări, datorită caracterului periodic pe care îl are o anumită curbă de lumină, ne putem aștepta ca ea să aibă iarăși valoarea $m_{\text{max., min.}}$ la momentele

$$t_1 = t_0 + P,$$
$$t_2 = t_1 + P = t_0 + 2P$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$t_E = t_0 + EP$$

unde E reprezintă un număr întreg de epoci sau perioade.

Am stabilit aici formula amintită mai sus, ea fiind expresia matematică care stă la baza cercetării unui mare număr de probleme legate de stelele variabile. Este vorba aici de o efemeridă liniară deoarece timpul (E) intră la puterea întîia.

Intervalul de timp dintre momentele la care avem magnitudine maximă sau minimă și momentul unei observații din același ciclu se numește fază. Pentru un anumit ciclu, E, faza Φ este definită prin expresia

$$t = t_0 + EP + \Phi$$

sau

$$\Phi = t - t_0 - EP$$

unde faza Φ este exprimată în unităţile în care sînt exprimate momentele t, t_0 şi perioada P. De obicei acestea din urmă sînt exprimate în zile şi fracţiuni de zi.

În cazul în care dorim ca faza Φ să fie exprimată în unităţi de perioadă, avem

$$\Phi = \frac{t - t_0}{P} - E$$

de unde reţinem doar partea fracţionară deoarece $0^P,0 \leqslant \Phi \leqslant 1^P,0$.

În mod practic faza unei observaţii se determină în modul următor:

— Se calculează diferenţa dintre momentul t al unei observaţii şi momentul t_E al maximului sau minimului care a avut loc înaintea lui t, astfel încît să corespundă la acelaşi ciclu, de aici rezultă că $t - t_0 \leqslant P$.

— Cu ajutorul efemeridei liniare ($t_E = t_0 + EP$) se calculează şi numărul de epoci E astfel încît formula de mai sus se poate aplica imediat.

Dacă se calculează fazele Φ_i pentru toate punctele observate [$m_i = f(t_i)$] şi scriem observaţiile în ordinea crescătoare a fazelor, obţinem o singură serie de observaţii în care au intrat observaţiile din cicluri diferite. Apoi, punctele individuale le grupăm în puncte medii astfel încît

$$\bar{\Phi} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \Phi_i, \qquad \bar{m} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} m_i,$$

unde n reprezintă numărul de puncte individuale (observate) care au fost grupate în punctul mediu (normal) corespunzător.

Funcţia $\bar{m} = f(\bar{\Phi})$ reprezintă curba medie de variaţie a strălucirii. Aceasta are avantajul că se poate obţine şi pentru acele stele variabile la care nu se pot efectua observaţii de-a lungul unui ciclu complet în cursul unei singure nopţi. În schimb, o curbă de acest fel are neajunsul că arată doar o variaţie medie, aici fiind camuflate variaţiile fine care ar putea exista de la un ciclu la altul. Pentru indicaţii mai amănunţite privind construirea unei curbe medii precum şi alte detalii privind analiza curbelor de lumină (curbe empirice) recomandăm sursa bibliografică I. Todoran [34].

Datele observaţionale privind variaţia strălucirii stelelor variabile se utilizează pentru determinarea unei serii lungi de momente ale maximelor şi minimelor acesteia, acestea din urmă putînd contribui la detectarea anumitor faze din evoluţia stelară sau să ducă la cele mai îndrăzneţe ipoteze, dintre care amintim:

— rotaţia orbitelor stelelor duble fotometrice, şi

— prezenţa unui al treilea corp care să fie legat fizic de anumite sisteme duble fotometrice.

În cazul stelelor pulsante se pun în evidenţă perioade multiple, existenţa acestora fiind, de asemenea, indiciu al unor etape ale evoluţiei stelare.

Avînd în vedere faptul că momentele observate ale strălucirii minime sau maxime se utilizează pentru analiza mai multor parametri fizici ai stelelor variabile, pe plan internaţional se organizează campanii pentru efectuarea unor astfel de observaţii. Aici, astronomii amatori au o contribuţie importantă; în Elveţia există un centru de adunare a datelor observaţionale privind stelele variabile, date care sînt prelucrate şi publicate în *Buletinul Asociaţiei pentru observarea stelelor variabile*. Acest buletin este foarte solicitat şi utilizat de către astronomii profesionişti care se ocupă de observarea şi cercetarea stelelor variabile. Iată de ce considerăm că şi amatorii din România printr-o îndrumare corespunzătoare ar putea participa la marile campanii internaţionale pentru observarea stelelor variabile.

4.3 Observarea novelor şi supernovelor în cadrul cercurilor de astronomi amatori [9], [37].

Într-o seară senină din luna martie a anului 1901, Sir Robert Ball, directorul Observatorului astronomic din Cambridge, avea invitaţi la masă, mai mulţi prieteni care se interesau de astronomie. Pentru aceşti prieteni el pregătise o mare surpriză.

Cu cîteva zile mai înainte, o steluţă de magnitudinea 13, pe neaşteptate, devenise atît de strălucitoare încît era comparabilă cu Capella (α Aurigae) sau chiar cu Vega (α Lyrae). Această stea „nouă" era comod de observat din grădina în care Sir Robert Ball îşi invitase prietenii pentru marea sur-

priză. Dar, ghinion, steaua „intrusă" nu se mai putea observa, deși condițiile de vizibilitate erau normale.

Surprins de noua situație și de decepția pe care o provocase în rîndul prietenilor săi, Sir Robert Ball s-a dus după asistentul său pe care l-a chemat să constate și el dispariția misterioasă. Dar, spre marea lor mirare și uimirea musafirilor răbdători, steaua cu pricina strălucea iarăși la locul cunoscut ca și cum nimic nu s-ar fi întîmplat.

Despre ce era vorba? Nimic misterios!

Datele observaționale și considerațiile teoretice au stabilit că novele reprezintă o categorie de stele variabile care se caracterizează printr-o creștere bruscă a luminozității și, prin aceasta, o mărire considerabilă a strălucirii. Luminozitatea novelor este de circa 100 000 ori mai mare decît aceea a Soarelui, iar creșterea bruscă a acesteia dă impresia apariției unei stele noi, de unde și denumirea de *novă*.

În timpul desfășurării fenomenului de novă are loc creșterea strălucirii unei anumite stele de circa 13 magnitudini, fapt care face posibilă observarea respectivă și cu instrumente mici. Din acest motiv novele au constituit un domeniu de cercetare în care astronomii amatori au adus o contribuție importantă atît prin descoperirea unor astfel de stele în faza de creștere bruscă a strălucirii, cît și prin observarea sistematică a variației strălucirii acestora.

Pentru observarea novelor se utilizează metodele pe care le-am amintit în cazul stelelor variabile, la nove variația de strălucire fiind însă mult mai spectaculoasă.

Datele fotometrice prin modificările indicilor de culoare, iar datele spectroscopice prin modificarea vitezelor radiale scot în evidență faptul că în momentul erupției unei nove se produce o ejecție de masă din straturile superficiale, materia ejectată manifestîndu-se ca o fotosferă întinsă. Observarea novelor în raze infraroșii, în ultimii 10 ani, a permis astronomilor să observe formarea norilor de gaz circumstelar și să pună în evidență dispersarea acestora ca o consecință a exploziilor respective.

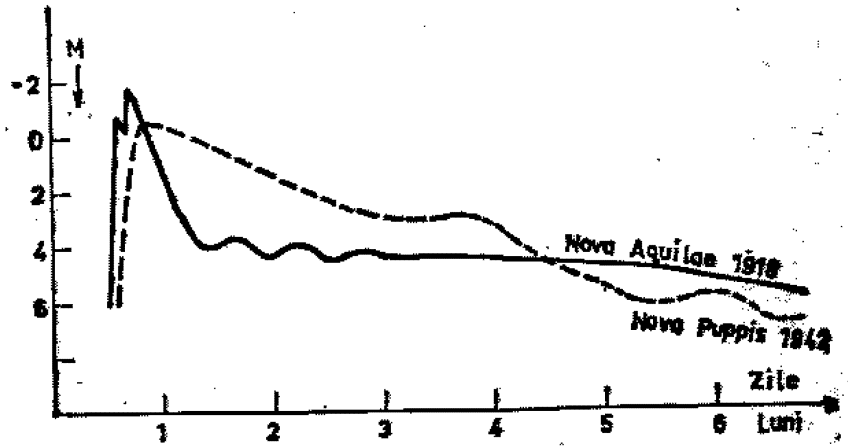
În cursul unei erupții o novă eliberează o cantitate de energie de $10^{44} - 10^{45}$ ergi. Iată, deci, cum prin observații simple astronomul amator poate asista la spectacolul dezlănțuit de degajarea unei energii de neîntîlnit în condițiile planetei noastre.

Urmărirea observațională a novelor într-un interval mai mare de timp pune în evidență faptul că unele dintre aceste erupții se repetă, adică există nove cu repetiție, care, la fel ca și stelele variabile, pot fi caracterizate prin durata perioadei dintre două erupții succesive. Determinarea unei astfel de perioade cere un număr mare de observații, astronomii amatori fiind chemați să-și aducă aportul lor și pe mai departe.

În fig. 4.6 sînt prezentate curbele de lumină ale novelor care au erupt în anii 1918 și 1942. Pentru notarea novelor este utilizat cuvîntul *novă* urmat de numele la cazul genitiv al constelației în care a avut loc apariția respectivă, după care se scrie anul corespunzător. Astfel, notația *Nova Aquilae 1918* reprezintă steaua care a erupt în anul 1918 în constelația Aquila (Vulturul).

Curbele de lumină ale novelor dezvăluie o mare varietate cînd sînt prezentate la aceeași scară de timp, deoarece atunci ies în evidență diferențele dintre novele rapide și cele lente. Dar dacă scara de timp este mult comprimată, curbele de lumină devin foarte asemănătoare pierzîndu-se caracteristicile fine.

La o scară de timp destul de mare se constată că, la unele nove, curbele de lumină au o creștere netedă pînă la maximul



4.6. Prezentarea comparativă a curbelor de lumină ale novelor: *Nova Puppis 1942* (curba punctată) pentru care în abscisă s-a luat ziua ca unitate de timp și *Nova Aquilae 1918* (curba continuă) pentru care în abscisă s-a luat luna ca unitate de timp.

de strălucire, în timp ce pe ramura descrescătoare apar oscilații destul de remarcabile.

Pe baza datelor observaționale a fost stabilită următoarea formulă empirică

$$M_{max.} = -11{,}5 + 2{,}5 \log t_3 \qquad (4.1)$$

unde $M_{max.}$ este magnitudinea absolută la maximul de strălucire, iar t_3 este intervalul de timp în care strălucirea novei scade cu trei magnitudini sub strălucirea maximă. Prin urmare, un astronom amator, prin metodele de observare a stelelor variabile, poate determina observațional timpul t_3 și magnitudinea aparentă, $m_{max.}$, în momentul strălucirii maxime. Formula (4.1) permite calcularea lui $M_{max.}$, iar utilizarea formulei (1.12) conduce la determinarea distanței pînă la nova respectivă.

Cea mai strălucitoare dintre novele care au apărut în ultimii 350 de ani a fost Nova Aquilae 1918 (= V_{603} Aquilae) care la 10 iunie 1918 a avut o strălucire asemănătoare cu aceea a stelei Sirius. Apoi, pentru un interval de timp de mai mulți ani, aceasta a rămas la magnitudinea $m = 11{,}0$.

Ca și alte nove, Nova Aquilae 1918 este o stea dublă spectroscopică, alcătuită dintr-o stea componentă de tip spectral tîrziu și o pitică albă, perioada corespunzătoare fiind $P = 3^h19^m{,}5$. În ultimul timp s-a constatat că aceasta este și stea dublă cu eclipse.

La 10 iunie 1980, rămășițele Novei Aquilae 1918 au fost observate de către satelitul IUE (International Ultraviolet Explorer) care, pe un interval de timp de opt ore, a urmărit producerea a trei minime ale strălucirii, datele înregistrate fiind în acord cu perioada dată mai sus pentru observațiile spectroscopice. Amplitudinea variației strălucirii fiind $\triangle m = 0{,}30$ magnitudini, pentru observații de precizie mărită sînt necesare fotometre fotoelectrice.

Cît despre steaua amintită la începutul acestui paragraf, se știe că era vorba de *Nova Persei 1901* care a jucat un rol important în cercetarea acestei categorii de corpuri cerești. În seara cînd era căutată de Sir Robert Ball, ea avusese un minim al strălucirii, astfel de variații fiind caracteristice pentru fazele de declin ale curbelor de lumină ale novelor.

Atunci cînd erupțiile unor stele sînt mult mai puternice decît acelea care determină fenomenul de novă, vom avea de-a face cu un fenomen în care luminozitatea stelei crește

și mai mult. Este vorba de așa-numitele *supernove*, fenomenul respectiv datorîndu-se unora dintre cele mai violente explozii cunoscute în Univers. La maximul de strălucire o supernovă poate emite atîta energie cît emit, în condiții normale, toate stelele din Galaxie. Supernova din Galaxia noastră, care a explodat în anul 1054 în constelația Taurus a avut la maximul de strălucire magnitudinea aparentă $m_{max.} = -5$ și a fost vizibilă cu ochiul liber în timpul zilei. Rămășițele acestei supernove sînt cunoscute astăzi sub denumirea de *Nebuloasa Crab* sau NGC—1952 sau $M-1$ (vezi tabelul 4.8).

La maximul de strălucire supernovele ajung pînă la magnitudinea absolută $M = -21$, fapt pentru care astfel de obiecte pot fi observate cu multă ușurință chiar și atunci cînd sînt situate mult mai departe decît limita pînă la care se întinde Galaxia noastră.

După caracterul curbelor de lumină, supernovele se grupează în diferite tipuri, fiecare tip fiind caracterizat printr-o magnitudine absolută medie. Prin urmare, dacă, pe cale observațională, un astronom amator trasează curba de lumină a unei supernove, prin comparația dintre aceasta și curbele de lumină ale diferitelor tipuri de supernove se apreciază magnitudinea absolută, $M_{max.}$, la maximul de strălucire, $m_{max.}$ se determină observațional, iar formula (1.12) ne permite să determinăm depărtarea corespunzătoare.

Cu aceste considerații astronomul amator trece deja de la astronomia galactică la cea extragalactică de care ne vom ocupa în capitolul următor.

Cu titlu informativ subliniem faptul că în seara zilei de 18 aprilie 1979 a fost observată explozia unei supernove în sistemul stelar NGC—4321 (M—100). Această descoperire este bazată pe observații vizuale efectuate de către astronomul amator Gus E. Johnson din Maryland (S.U.A.). În seara descoperirii, această supernovă avea magnitudinea aparentă $m = 11{,}5$, pe la mijlocul lunii mai (1979) strălucirea respectivă ajunsese la $m = 13$. A fost urmărită observațional de către mai mulți astronomi amatori care, alături de cercetătorii profesioniști, au adus contribuții însemnate.

La 24 mai 1971 a fost descoperită una dintre cele mai luminoase supernove din ultimii ani în galaxia spirală $M-63$ (NGC—5055, vezi tabelul 5.1) din constelația Canes Venatici. Ea a fost intens observată atît de către profesioniști cît și de către astronomii amatori prin intermediul fotometriei fo-

toelectrice sau fotografice. Steaua respectivă a fost fotografiată și la data de 20 mai ca o stea de magnitudinea aparentă $m = 13{,}0$.

Din cercetările efectuate asupra regiunilor în care au fost înregistrate explozii de supernove s-a constatat că acolo unde acest fenomen a avut loc se mai găsesc resturi ale acestora — relicve ale obiectelor cosmice care au explodat. În Galaxia noastră astfel de relicve se cunosc în constelațiile Taurus și Vela. În restul din Taurus — Nebuloasa Crab — s-a pus în evidență prezența unui pulsar, o sursă care emite energie în domeniul undelor radio sub formă de pulsuri foarte regulate. Acest pulsar este notat NP—0532, este cunoscut din anul 1968 și are următorii parametri fizici

Perioada de pulsație ..... $P = 0{,}03309952$ secunde,
Temperatura centrală ..... $T_c = 5 \cdot 10^8$ °K,
Temperatura la suprafață ..... $T_s = 8 \cdot 10^6$ °K,
Masa totală ..... $\mathfrak{M} = 1{,}3$ mase solare
Densitatea medie ..... $\overline{\rho} = 7{,}85 \cdot 10^{14}$ gr/cm³,
Luminozitatea în domeniul optic $L = 3 \cdot 10^{26}$ J $= 3 \cdot 10^{33}$ ergi.

Descoperirea pulsarului din Nebuloasa Crab și coincidența dintre acesta și steaua variabilă existentă aici constituie o dovadă a faptului că pulsarii sînt stele neutronice.

4.4 Stele duble și multiple [1], [5], [30], [31], [37].

În paragraful 4.2e am relatat în cîteva cuvinte despre stelele duble a căror existență se punea în evidență prin intermediul observațiilor fotometrice și spectroscopice. De asemenea, despre stele duble a mai fost vorba în paragraful 1.2b unde am amintit faptul că steaua ζ Ursae Majoris (Mizar) este o stea dublă. Prin urmare, pe bolta cerească există și stele duble sau multiple ale căror componente se pot observa separate, astfel de stele fiind numite *stele duble vizuale*. Aspectul acestora este deosebit de atrăgător, iar astronomul amator poate găsi un teren de activitate interesantă observînd astfel de obiecte.

Așa cum am mai arătat, pe bolta cerească putem observa stele duble vizuale *optic* și stele duble vizuale *fizic*. O stea dublă optic este „alcătuită" din două stele „componente" care, aparent, sînt situate (proiectate) foarte aproape una

de alta. În realitate, componentele respective pot să se găsească în spațiu la mari distanțe una de alta, duplicitatea observată fiind un fenomen aparent datorat perspectivei, cele două componente neinfluențîndu-se una pe alta. Privite la mari intervale de timp, componentele unei stele duble optic se proiectează în același loc pe firmament, sau în poziții foarte puțin diferite, dar fără consecințe ale unei influențe mutuale.

Dacă componentele unei stele duble sînt situate în spațiu la mică depărtare una de alta, ele se influențează reciproc și constituie așa-numitele stele *duble fizic*. În mod analog am putea defini stelele triple sau multiple. La astfel de obiecte ne vom referi în paragraful prezent.

Natura unei stele duble fizic este confirmată de faptul că, prin observații efectuate la diferite intervale de timp, se pune în evidență mișcarea relativă a unei stele în jurul celeilalte componente sau se stabilește mișcarea ambelor componente în jurul centrului comun de masă.

Din mai multe serii de observații, care constau din determinarea punctelor în care cele două componente se proiectează pe bolta cerească, se poate determina orbita relativă a unei componente în jurul celeilalte. De aici rezultă concluzia că, de fapt, cele două componente sînt, în spațiu, destul de îndepărtate una de alta, distanța reciprocă fiind mult mai mare decît în cazul stelelor duble fotometrice. Această situație face posibil că cele două componente să poată fi observate distincte, iar steaua respectivă să fie *rezolvată* în componentele sale.

Cînd avem de-a face cu o stea dublă fizic cu o perioadă foarte lungă, de ordinul unui mare număr de ani, este dificilă punerea în evidență a mișcării orbitale și se pot face confuzii între cele două categorii de stele duble vizuale — fizic și optic.

Menționăm faptul că mișcarea unei componente în raport cu cealaltă se poate pune în evidență și prin măsurarea distanței unghiulare prin care sînt separate stelele respective, astfel de determinări putînd fi efectuate și de către astronomii amatori. Prin urmare, atunci cînd citim informațiile privind o stea dublă este bine să reținem epoca pentru care este dată separarea dintre componente (= distanța unghiulară exprimată în secunde de arc). Evident, o astfel de specificare nu-i necesară atunci cînd avem de-a face cu stele duble lung periodice, printre acestea fiind incluse și stelele duble vizuale din tabelul 4.6.

TABELUL 4.6

Stele duble pentru testarea puterii de rezolvare a unei lunete sau telescop

Steaua	α_{1950}	δ_{1950}	Separarea în secunde de arc	Magnitudinile m_A	m_B
16,17 Draconis	16h35m,5	+52°58'	91"	5,2	5,6
υ^1, υ^2 Draconis	17h31m,7	+55°08'	62	5,0	5,0
61 Cygni	21h05m,8	+38°35'	29	5,5	6,4
ζ Ursae Majoris (Mizar)	13h23m,1	+55°02'	14	2,4	4,0
γ Andromedae	02h02m,7	+42°14'	10	2,1	5,1
ξ Cephei	22h03m,1	+64°32'	8,0	4,6	6,6
ζ Coronae Borealis	15h38m,6	+36°42'	6,3	5,1	6,0
γ Leonis	10h18m,8	+19°57'	4,3	2,1	3,4
ε^1 Lyrae	18h43m,7	+39°39'	2,7	5,4	6,5
ε^2 Lyrae	18h43m,7	+39°36'	2,3	5,1	5,3
12 Lyncis	06h43m,7	+59°28	1,7	5,4	6,0
4 Aquarii	20h50m,3	—05°43'	1,0	6,4	7,2
14 Orionis	05h06m,3	+08°28'	0,7	5,9	6,6
7 Tauri	03h33m,0	+24°24'	0,6	6,6	6,7
ω Leonis	09h27m,4	+09°10'	0,5	6,0	6,7
η Ophiuchi	17h09m,3	—15°42'	0,4	3,2	3,5

În general, stelele duble sînt foarte importante deoarece ele ne permit să determinăm masele stelare. În acest scop se utilizează cea de-a treia lege a lui Kepler scrisă sub forma

$$P^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{f(\mathfrak{M}_A + \mathfrak{M}_B)}.$$

Dacă exprimăm perioada P în ani, semiaxa mare a în unități astronomice iar masele în unități de mase solare și scriem relația de mai sus pentru un sistem de stele duble și pentru sistemul Soare-Pămînt, luînd raportul relațiilor astfel obținute, avem suma maselor celor două componente

$$\mathfrak{M}_A + \mathfrak{M}_B = \frac{a^3}{P^2}.$$

Pentru determinarea masei fiecărei componente trebuie să cunoaștem și mișcarea în jurul centrului de greutate din care rezultă

$$\frac{\mathfrak{M}_A}{\mathfrak{M}_B} = \frac{r_B}{r_A},$$

unde r_A și r_B sînt distanțele corespunzătoare de la centrul comun de greutate. Prin urmare, avînd suma și raportul maselor se calculează masele individuale $\mathfrak{M}_A$ și $\mathfrak{M}_B$.

O stea dublă este alcătuită din două stele componente care se influențează reciproc, dintre acestea steaua mai strălucitoare este componenta principală pentru notarea căreia folosim litera A, pe cînd steaua mai puțin strălucitoare este componenta secundară pentru notarea căreia folosim litera B. Astfel vom scrie Castor A și Castor B pentru cele două componente ale stelei duble vizuale α Geminorum, cunoscută sub denumirea de *Castor*.

Pentru notarea stelelor multiple se folosesc, în ordinea descrescătoare a strălucirii, literele A, B, C, D etc.

În literatura de specialitate se pot întîlni și alte notații decît cele amintite mai sus. Astfel se poate specifica numărul corespunzător al stelei dintr-un anumit catalog, de exemplu, γ Coronae Borealis este notată $\Sigma 1967$, steaua cu numărul 1967 în catalogul întocmit de către Wilhelm Struve în 1837. Steaua dublă λ Cygni are notația $0\Sigma 413$ în catalogul lui Otto Struve, iar notația ADS urmată de un număr ne indică steaua cu numărul respectiv din catalogul de stele duble întocmit de către Aitken etc.

Pentru observarea stelelor duble în cadrul cercurilor de astronomi amatori se pot utiliza telescoape de diferite dimensiuni, cu condiția ca ele să aibă o optică bună. De asemenea, trebuie ca și condițiile atmosferice să fie bune; se cere o stabilitate bună a aerului, condiție în care imaginile stelare să fie cît mai bine conturate.

Uneori condițiile de vizibilitate pot fi afectate de microclimatul din jurul telescopului; un telescop așezat pe un teren cu iarbă verde va oferi imagini mult mai bune decît atunci cînd el este instalat pe asfalt unde pot să existe curenți de aer cald care alterează condițiile de vizibilitate. În plus, vizibilitatea unei stele este cu atît mai bună, cu cît ea este mai

sus deasupra orizontului, de aceea stelele duble se observă, cu precădere, în vecinătatea trecerii la meridianul locului.

În general, observarea stelelor duble se face prin oculare ortoscopice sau prin intermediul unei lentile Barlow, situată în fața ocularului obișnuit, pentru a lungi distanța focală efectivă a obiectivului.

În tabelul 4.6 sînt trecute 16 stele duble vizuale care au perioadele orbitale foarte mari, fapt pentru care separarea celor două componente se menține constantă sau aproape constantă pentru un mare interval de timp. În prima coloană se află denumirea stelei, coloanele 2 și 3 conțin coordonatele ecuatoriale raportate la epoca 1980,0, coloana 4 conține distanța unghiulară care separă componentele respective. În sfîrșit, ultimele două coloane conțin magnitudinile aparente ale stelelor componente. Aceste stele au fost aranjate după separarea descrescătoare a celor două componente.

Observarea stelelor din tabelul 4.6 ne permite să determinăm limita puterii de separare pe care o are telescopul utilizat, iar observarea lui γ Andromedae, de exemplu, ne permite să constatăm cam ce fracțiune din cîmpul vizual corespunde distanței unghiulare de 10″. Apoi, cunoscînd mărimea cîmpului vizual, cu ajutorul unor repere — reticul din fire de paianjen sau alte fire subțiri, putem determina distanța unghiulară pentru stelele la care aceasta este necunoscută sau variază în timp (vezi și paragraful 2.1d).

Limita puterii de separare a instrumentului se determină, așa cum am specificat și în paragraful 2.1, prin observarea unei stele duble din tabelul 4.6 la care abia se mai pot distinge separat cele două componente.

În afară de stelele din tabelul 4.6 care sînt potrivite pentru „calibrarea" telescopului astronomului amator, dăm mai jos alte stele duble vizuale care pot reține atenția fiecărui observator.

— ADS 5423 = α Canis Majoris = Sirius ($\alpha_{1980} = 6^h44^m,2$ $\delta_{1980} = -16°41'$) este steaua cea mai strălucitoare de pe bolta cerească și face parte din grupul stelelor apropiate de noi, ea se află la numai 8,7 ani lumină, paralaxa ei fiind $p'' = 0'',377$. Istoria companionului acestei stele — Sirius B — își are originea în cercetările lui F.W. Bessel care a constatat că steaua Sirius are o mișcare pe bolta cerească în jurul unui punct considerat centrul de greutate a două stele: *Sirius A* și *Sirius B*. Astfel, în 1844 se ajunge la concluzia

că Sirius B trebuie să se miște în jurul lui Sirius A cu o perioadă de circa 50 ani, fapt confirmat prin observații la data de 31 ianuarie 1862.

Sirius B este o stea pitică albă, de magnitudine $m = 10$, fapt pentru care ea poate fi observată numai atunci cînd se află la o separare maximă față de Sirius A, aceasta din urmă avînd magnitudinea $m = -1,6$. O poziție de acest fel a avut loc în anul 1972 cînd separarea a atins valoarea de 11″,27. În 1993 va avea loc o separare minimă de numai 2″,52.

Din cauza excentricității mari a orbitei relative a lui Sirius B distanța dintre cele două componente variază între 8,1 și 31,7 unități astronomice. Masele componentelor lui Sirius sînt egale cu 2,2 și respectiv 0,9 mase solare.

Am ținut să menționăm aici problema stelei Sirius deoarece în anii care urmează va fi tot mai greu de observat Sirius B, așa că observatorul amator trebuie să cunoască motivele pentru care acest companion va fi invizibil.

— ADS 7203 = σ^2 Ursae Majoris = Σ1306 ($\alpha_{1980} = 9^h08^m,6$, $\delta_{1980} = +67°13'$) a fost descoperită în 1783 cînd componentele respective erau separate prin distanța unghiulară de 7″. În 1912 separarea respectivă era de numai 1″,1, iar acum cele două componente sînt separate prin 3″. Dacă perioada orbitală este de 1 067 ani, atunci separația maximă de 11″ va fi atinsă abia în anul 2500. Cele două componente au magnitudinile aparente 4,8 și respectiv 8,2.

— ADS 9372 = ε Bootis = Σ1877 ($\alpha_{1980} = 14^h44^m,1$, $\delta_{1980} = +27°09'$) are un aspect deosebit de atractiv. Astronomul amator poate petrece multe ore desfătîndu-se prin observarea contrastului de culoare de la galben la albastru. Steaua mai strălucitoare are magnitudinea 2,7, pe cînd companionul are o strălucire de numai 5,1 magnitudini. În prezent separarea dintre componente este de 2″,8, orbita lung periodică nefiind încă determinată.

— ADS 11046 = 70 Ophiuchi ($\alpha_{1980} = 18^h04^m,3$, $\delta_{1980} = +2°30'$) este remarcabilă prin aceea că ea face parte din grupa stelelor duble care sînt potrivite pentru a fi observate în telescoapele mici ale astronomilor amatori, are perioada de numai 87,8 ani. A fost descoperită de William Herschel în 1779 și este situată la numai 16,7 ani lumină față de noi, magnitudinile celor două componente fiind 4,2 și respectiv 5,9.

În anul 1975 cele două componente ale stelei 70 Ophiuchi erau separate prin 1″,88, în 1982 separarea era 2″,31 iar în

1989 ele vor fi separate prin 1″,53. În fine, în anul 2024 separarea acestor componente va fi 6″,75.

Din cauza excentricității mari a orbitei distanța dintre cele două componente variază între 11,7 și 35 unități astronomice. Ambele componente sînt stele pitice, componenta mai strălucitoare avînd culoare galben-portocalie și masa egală cu o masă solară, pe cînd componenta secundară este portocalie și are masa egală cu 0,7 mase solare.

În legătură cu stelele din tabelul 4.6 este interesant de amintit următoarele:

— ADS 11635 = ε Lyrae este o stea remarcabilă quadruplă. Cele două componente principale ε^1 și ε^2 sînt separate prin 208″, dar fiecare din ele în parte este ele o stea dublă. ε^1 are notația Σ2382, componentele acesteia fiind separate prin 2″,7, pe cînd ε^2 = Σ2383 are componentele separate prin 2″,3, perioadele corespunzătoare fiind de 1.166 și respectiv 586 ani.

— ADS 14636 = 61 Cygni = Σ2758 este ușor de observat chiar și cu telescoape mici, magnitudinile corespunzătoare fiind 5,5 și 6,4, cu separarea de 29″ și perioada orbitală de 653 ani. Se află la distanța de numai 11,2 ani lumină.

[redacted] stelare [1], [25], [35].

În paragraful precedent am prezentat aspectul unor stele duble și multiple. Acolo, prin stele multiple am definit un grup de cîteva stele care se influențează reciproc, dar dacă numărul stelelor componente este mult mai mare formațiunea respectivă nu se mai numește stea multiplă ci îngrămădire de stele sau roi.

Pe bolta cerească, un roi de stele se prezintă ca o pată luminoasă; despre astfel de pete am mai spus cîteva cuvinte în paragraful 3.2.

Privite prin telescop, îngrămădirile de stele — roiurile stelare—se pot „descompune" în stelele componente, iar distanțele la care se află în raport cu observatorul arată că ele sînt obiecte situate în interiorul Galaxiei noastre.

După aspectul lor, roiurile stelare se grupează în roiuri deschise sau dispersate și roiuri globulare sau sferice. Dar, oricare ar fi forma unui roi, acestea sînt formațiuni de-sinestătătoare, stelele componente fiind legate între ele prin forța de atracție gravitațională.

[redacted] Unele dintre îngrămădirile de stele existente în Galaxia noastră prezintă o pronunțată concentrare spre planul galactic, fapt pentru care ele se numesc *roiuri galactice*. După forma lor aceste roiuri se numesc *roiuri deschise* sau *dispersate*, deoarece distanța dintre componente este destul de mare și aproape toate stelele se pot vedea în mod separat atunci cînd le privim printr-un telescop. În acest caz se spune că roiul respectiv este rezolvat (descompus) în stele.

Pentru roiurile dispersate este greu de stabilit o formă geometrică bine conturată, ele pot avea uneori forme neregulate și din cauza distribuției întîmplătoare a stelelor din interiorul lor. Ca exemple de astfel de roiuri amintim: Pleiadele, Hyadele, Roiul dublu din Perseu etc.

Cu ochiul liber se pot vedea vreo 30 de roiuri dispersate, dar numărul cunoscut al acestora este de peste 750, depărtarea lor în raport cu Soarele variind de la 40 la 3 300 parseci.

Dintre roiurile deschise, *Pleiadele* sînt cel mai ușor de observat. Ele reprezintă o podoabă a cerului de toamnă și început de iarnă. La noi, acest roi este cunoscut sub denumirea de „Cloșca cu Pui" sau „Găinușa" și reprezintă un reper pentru măsurarea timpului în lungile nopți de toamnă cînd acestea din urmă erau utilizate de către țărani pentru muncile agricole intense.

Pleiadele au fost observate de către chinezi în secolul 24 înaintea erei noastre în constelația Taurus. La o transparență medie a atmosferei terestre cu ochiul liber se pot observa 5 sau 6 stele, dar în nopțile senine de iarnă unele persoane cu vedere bună pot vedea pînă la 10 sau chiar 12 stele.

Steaua cea mai luminoasă din Pleiade se numește *Merope*.

Stelele din Pleiade sînt stele tinere, acesta fiind unul dintre cele mai tinere roiuri stelare. Stelele componente aparțin claselor spectrale O sau B. Roiul este situat la distanța de 120 parseci (408 ani lumină) și are vîrsta de numai 50 milioane ani. În prezent acest roi este foarte mult cercetat deoarece el este bogat în materie interstelară, iar apropierea lui creează condiții bune pentru cercetarea interacțiunii dintre stele și materia interstelară. Aici, prin intermediul unui telescop cu distanță focală scurtă și diametru mare, se poate observa o nebuloasă slabă — Nebuloasa din Pleiade.

Stelele din Pleiade nu sînt destul de fierbinți pentru a ioniza în mod apreciabil gazul interstelar, fapt pentru care nebulozitatea respectivă apare albastră în loc de a fi roșie cum este cazul în alte roiuri. Observațiile radio au arătat că nebulozitatea din Pleiade nu este o rămășiță din timpul formării roiului, ea reprezintă un nor interstelar pe care roiul de stele îl străbate cu viteza de cel puțin 10 km/s.

Pleiadele sînt un roi tînăr în care se găsesc multe stele variabile, dar nu conține stele de tipul *RR Lyrae* și nici cefeide; în schimb există stele cu erupții și stele cu învelișuri (shell stars), stele la care energia radiată este produsă în „scoarța" stelei prin arderea hidrogenului.

Tot în constelația Taurus, nu departe de Pleiade se găsește roiul dispersat *Hyadele* care este mult mai vechi și mai împrăștiat. Cele mai timpurii stele conținute aici sînt de tipul spectral A1. În acest roi se găsesc stele duble precum și cîteva pitice, în total găsindu-se aici vreo 350 stele.

Mai mult de jumătate din stelele roiului Hyade sînt distribuite într-o sferă cu raza de circa 6 parseci. Întreg roiul are o mișcare spațială cu viteza de 43 km/s în raport cu Soarele. Densitatea de repartiție a stelelor este de 0,5 stele pe parsecul cub, iar centrul roiului este situat la distanța de 44 parseci (143,44 ani lumină). O nouă determinare a depărtării roiului a condus la $d = 46$ parseci $= 150$ ani lumină.

Pe măsură ce Hyadele îmbătrînesc, forțele gravitaționale dintre stelele componente se reduc, iar roiul se împrăștie pînă ce nu va mai rămîne urmă de el.

Un alt roi vizibil cu ochiul liber este acela al Praesepelor, supranumit Stupul (se aseamănă cu un roi de albine). El este situat între stelele γ și δ din constelația Cancer, a fost observat din vechime și a constituit o „țintă" interesantă pentru luneta lui Galilei care a numărat peste 36 stele. Diametrul aparent este de circa 40′, conține stele asemănătoare cu cele din Hyade și este situat la o depărtare de 515 ani lumină. Are o masă de circa 550 mase solare.

Alte roiuri dispersate sînt date în tabelul 4.7, alături de unele roiuri globulare care pot fi observate cu aparatură modestă.

De obicei, roiurile dispersate se caracterizează prin diametre liniare foarte mari, între 1,5 și 15 parseci. Diametrele aparente variază între 0,5 și 600 minute de arc, această variație

TABELUL 4.7.

Roiuri stelare

Număr NGC	Număr M	Structura roiului	Coordonatele α_{1950}	Coordonatele δ_{1950}	m	d a.l	Constelația
752		dispersat	01h56m,6	+37°35′	6,6	1239	Triangulum
869		"	02h17,6	+57°04′	4,3	7069	Perseus (h Persei)
884		"	02h21,0	+57°02′	4,4	8085	Perseus (χ Persei)
Hyade		"	03h19,0	+15°85′	0,8	130	Taurus (Hyade)
Pleiade	45	"	03h46,9	+24°04′	1,6	408	Taurus (Pleiade)
1912		"	05h27,3	+34°49′	7,0	4597	Auriga
1976	42	"	05h34,4	−05°24′	2,5	1337	Orion (Trapezul)
2099	87	"	05h51,1	+32°32′	6,2	4173	Auriga
2168	35	"	06h07,6	+24°21′	5,6	2886	Gemini
2232		"	06h25,5	−04°44′	4,1	1597	Monoceros
2244		"	06h31,3	+04°53′	5,2	5281	Monoceros
2264		"	06h39,9	+09°54′	4,1	2847	Monoceros
2632		"	08h39,0	+19°04′	3,9	615	Cancer (Praesepele)
2682	67	"	08h49,3	+11°54′	7,4	2706	Cancer
5272	3	globular	13h41,3	+28°29′	6,9	34556	Canes Venatici
6904	5	"	15h17,5	+02°10′	6,7	26406	Serpens
6205	13	"	16h41,0	+36°30′	6,4	25000	Hercules
6218	12	"	16h46,1	−01°55′	7,6	24124	Ophiuchus
6254	10	"	16h56,0	−04°05′	7,3	20212	Ophiuchus
6341	92	"	17h16,5	+43°10′	6,9	25754	Hercules
IC4665		dispersat	17h45,7	+05°44′	5,4	1076	Ophiuchus
IC4756		"	18h38,3	+05°26′	6,4	1434	Serpens
7078	15	globular	21h29,1	+12°05′	6,9	34230	Pegasus
7089	2	"	21h32,4	−00°55′	6,9	40098	Aquarius
IC1396		dispersat	21h38,3	+57°25′	5,1	2815	Cephei
7790		"	23h57,4	+61°00′	7,00	10309	Cassiopeia

fiind determinată atît de diametrul real al roiului, cît și de depărtarea sa corespunzătoare.

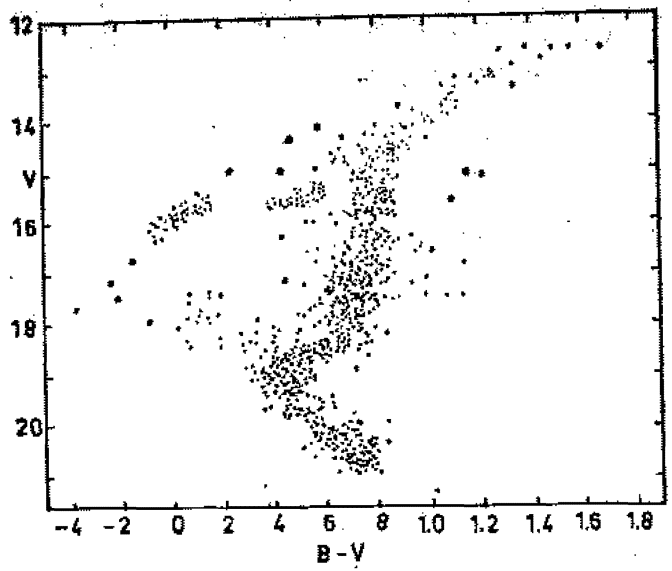
Numărul stelelor dintr-un roi dispersat variază între 15 și 20 pentru roiurile mici și poate să ajungă pînă la 300 în roiurile mari. Aici se pot întîlni stele gigante albe și albastre, dar nu se observă stele roșii și galbene.

[redacted]ânt aglomerări de sute și mii de stele sau uneori chiar milioane de stele. Se află la depărtări foarte mari, de obicei fiind situate la marginea Galaxiei. Denumirea de „globulare" provine de la faptul că au o pronunțată concentrare a stelelor spre centrele lor și posedă o simetrie aproape sferică. Pot fi observate în orice direcție, ele neavînd o distribuție preferențială cum am văzut că au roiurile dispersate. În regiunea centrală, stelele sînt atît de apropiate unele de altele, încît imaginile lor se contopesc și nu se mai pot distinge stele separate. Acest roi nu se poate rezolva complet în stele așa cum era cazul roiurilor dispersate.

Roiul din Hercules (M—13) a fost descoperit în anul 1714 de către Edmond Halley. În interiorul acestui roi se găsesc stele variabile de tipul RR Lyrae, cu ajutorul cărora s-a determinat distanța roiului de 25 000 ani lumină. Are diametrul aparent de 23', ceea ce revine la un diametru liniar de 170 ani lumină. Este la limita puterii de observare cu ochiul liber, dar poate fi studiat cu ușurință prin intermediul unui binoclu sau al unei lunete modeste.

Roiul din Serpens (NGC 5904 = *M* 5) se află de asemenea la limita puterii de observare cu ochiul liber. Este situat la 0°,4 nord vest de steaua 5 Serpentis și are un diametru aparent de 0°,25. În 1800, John Herschel a numărat aici peste 300 stele și l-a găsit foarte compact, fapt pentru care el l-a asemănat cu un bulgăre de „zăpadă cosmică".

Roiul din constelația Canes Venatici (NGC—5272 = *M* — — 3) se găsește la distanța de 13 000 parseci (35 000 ani lumină), diagrama H—R a acestuia fiind dată în fig. 4.7. De aici se vede că, în afara ramurii care reprezintă secvența principală, mai există alte ramuri care pun în evidență prezența unor stele mult evoluate de la secvența principală. Prin urmare, diagrama H—R a unui roi de stele constituie un prim semnal al faptului că acolo avem de-a face cu un roi bătrîn în care stelele au avut timp destul pentru desfășurarea



4.7. Diagrama H—R a roiului globular Messier-3 (NGC—5272).

transformărilor care stau la baza evoluției stelare. Diagrame de acest fel arată că, în cursul vieții lor, în diagrama H—R stelele parcurg anumite curbe care sînt cunoscute sub denumirea de *trasee evolutive*.

Desigur, problemele de evoluție stelară sînt foarte complicate, ele aparțin astronomiei teoretice și nu intră în cadrul expunerii noastre. Cu toate acestea, există unele date observaționale de care trebuie să se țină seamă atunci cînd se elaborează modelele teoretice ale stadiilor de evoluție. Astfel de date pot fi furnizate și prin observarea roiurilor globulare, la care ar putea participa și astronomii amatori.

În total se cunosc circa 120 roiuri globulare, numărul acestora fiind însă mult mai mare, dar cele mai multe dintre ele nu pot fi observate din cauza lipsei de instrumente potrivite pentru acest scop. Se apreciază că numai în Galaxia noastră ar există peste 100 milioane astfel de roiuri.

În general, diametrele roiurilor globulare au între 7 și 200 parseci. O examinare atentă a acestora poate pune în evidență „turtirea" lor, fapt care duce la concluzia că aceste

sisteme stelare au mișcări de rotație în jurul unei axe de simetrie.

Densitatea stelelor în roiurile globulare este de mii de ori mai mare decît densitatea stelară din Galaxia noastră în vecinătatea Soarelui. Într-un nucleu cu diametrul de 5 parseci al unui astfel de roi există 30 000 — 40 000 stele.

Roiurile globulare sînt formațiuni stabile în timp, putînd atinge o vîrstă apreciabilă în cursul căreia se pot desfășura procesele care stau la baza evoluției stelare.

În tabelul 4.7 sînt trecute cele mai importante date referitoare la roiurile stelare care pot fi observate de către astronomii amatori din România. În primele două coloane se află numerele NGC și cele din catalogul lui Messier, iar în coloana a 3-a este specificată natura roiului. Coloanele 4 și 5 conțin coordonatele ecuatoriale la începutul anului 1980, iar coloanele 6 și 7 conțin magnitudinile aparente și depărtările corespunzătoare. Și, în sfîrșit, în ultima coloană este specificată constelația în care roiurile respective se proiectează pe bolta cerească.

[redacted] [25], [26]

În paragraful 3.3 am amintit faptul că pe bolta cerească, în nopțile senine și fără Lună, se pot observa o serie de obiecte cu aspect nebular, obiecte care sînt numerotate și înregistrate în catalogul NGC sau M(Messier). Dintre acestea, așa cum am arătat în paragraful precedent, privite prin lunete, unele s-au dovedit a fi roiuri stelare, membre ale Galaxiei noastre, stelele componente putînd fi văzute separate între ele. În schimb, există o altă serie de obiecte cu aspect nebular care, deși aparțin Galaxiei, nu se pot descompune în stele nici cu cele mai puternice lunete sau telescoape, acestea sînt *nebuloasele galactice*.

Astăzi noțiunea de nebuloasă galactică este utilizată pentru definirea unei aglomerări de materie interstelară, de masă destul de mare și foarte extinsă, și care poate să apară observatorului ca un obiect luminos sau obscur.

După aspectul lor deosebim următoarele tipuri de nebuloase galactice:

i) Nebuloase luminoase cu emisie, ii) nebuloase luminoase cu reflexie, iii) nebuloase obscure și iv) nebuloase planetare.

Pentru a veni în sprijinul astronomului amator, dăm aici cîteva dintre cele mai semnificative caracteristici ale acestora.

[redacted] reprezintă imense aglomerări de materie interstelară în vecinătatea căreia se găsește o stea fierbinte, de exemplu o stea de tipul spectral B 1 sau și mai timpuriu, spectrul luminii care vine de la astfel de obiecte fiind caracterizat prin linii de emisie. Prezența acestor linii se explică prin faptul că materia gazoasă din aglomerarea respectivă, găsindu-se în vecinătatea stelei fierbinți, primește o mare cantitate de energie de la steaua corespunzătoare. O parte din această energie, prin intermediul radiațiilor ultraviolete, excită atomii gazului, aceștia din urmă devenind capabili ca ei înșiși să emită lumină.

Pe bolta cerească, nebuloasele luminoase cu emisie apar ca niște pete luminoase fără un contur clar și fără forme definite. Astfel de obiecte se pot vedea atît cu ochiul liber cît și prin lunete, un exemplu tipic fiind Marea Nebuloasă din Orion. Din cauza aspectului lor aceste obiecte se mai numesc și *nebuloase difuze cu emisie*.

Marea Nebuloasă difuză din Orion are diametrul aparent de 1°, dar dacă este privită prin lunete mari și se iau în considerare și unele ramificații, suprafața pe care o ocupă are vreo 3° în diametru, diametrul liniar fiind de circa 10 parseci. Se găsește la distanța de circa 500 parseci, în partea centrală avînd o densitate de 300 atomi/cm^3.

Unele nebuloase de acest tip pot fi formațiuni relativ mai mici, cum ar fi, de exemplu, anumite fărîmituri de materie interstelară sau nori. Diametrele aparente ale acestora pot fi de ordinul cîtorva minute de arc, ele putînd fi observate numai cu instrumente puternice. Pînă acum au fost catalogate peste 300 obiecte de acest fel, în realitate numărul lor fiind desigur mult mai mare.

ii) Din examinarea unor îngrămădiri de materie interstelară care au spectre continue, se constată că ele sînt situate în vecinătatea unor stele care însă nu sînt destul de fierbinți pentru a determina excitarea atomilor de gaz nebular și, prin aceasta, nu pot determina apariția liniilor de emisie. Prin urmare, există o serie de nebuloase care pot fi observate numai datorită faptului că ele reflectă lumina pe care o primesc de la stelele vecine; în acest mod ar putea fi explicată și prezența

spectrului continuu. Astfel de nori de materie interstelară se numesc *nebuloase luminoase cu reflexie*, pe bolta cerească ele asemănîndu-se foarte mult cu nebuloasele cu emisie, deosebirea dintre ele fiind prezența liniilor de emisie care se stabilește pe cale spectroscopică.

iii) Dacă o îngrămădire de materie interstelară, asemănătoare cu cele amintite mai sus, nu este situată în vecinătatea vreunei stele destul de fierbinți, materia respectivă nu este iluminată în măsură necesară pentru a fi observabilă. În schimb, ea absoarbe lumina stelelor care sînt situate undeva dincolo de aceasta, fapt pentru care, pe bolta cerească, astfel de formațiuni apar sub forma unor „coridoare" goale printre stele. De aceea ele au primit denumirea de *nebuloase obscure* și au fost asemănate cu niște saci cu cărbuni.

În unele cazuri, cum este *Nebuloasa Cap de Cal* din constelația Orion, structura nebulară a acestor formațiuni este evidentă, iar în altele, însă, prezența unor nori obscuri poate fi detectată numai prin observarea schimbărilor bruște în strălucirea stelelor din vecinătatea lor.

Din punct de vedere structural, nebuloasele obscure pot fi considerate identice cu nebuloasele luminoase amintite mai sus, singura deosebire fiind prezența sau absența stelelor luminoase care să determine aspectul luminos al unei îngrămădiri de materie interstelară.

În cadrul cercurilor de astronomi amatori, observînd nebuloasele luminoase sau obscure descrise mai sus, putem observa acele formațiuni de materie interstelară din care pot să se nască noi generații de stele, este vorba de observarea materiei prestelare.

iv) Spre deosebire de îngrămădirile de materie interstelară amintite mai sus, materie din care urmează a se forma noi stele, *nebuloasele planetare* reprezintă un alt tip de materie interstelară. Și în acest caz este vorba de materie interstelară cu masă destul de mare și foarte extinsă, în centrul căreia se găsește o stea fierbinte, de obicei o stea de tip Wolf-Rayet. Dar spre deosebire de cazurile amintite mai înainte între materialul nebular și steaua centrală există o legătură genetică. În instrumentele mici aceste obiecte apar sub forma unor discuri asemănătoare cu discurile aparente ale planetelor, de aici și denumirea de *nebuloase planetare*, dar, de fapt, ele nu au nimic de-a face cu planetele propriu-zise.

Cea mai mare dintre nebuloasele planetare este Nebuloasa Helix din Aquarius, care are o rază aparentă de circa 13'. Din cauza dimensiunilor mari, deși strălucirea globală este mare ($m = 6{,}5$), observarea acestei nebuloase este destul de dificilă.

Materialul gazos și nebular dintr-o nebuloasă planetară, în unele cazuri, prezintă stratificări concentrice cu structuri destul de complicate și turbulență. Acest material se prezintă sub forma unui înveliș gazos care a fost ejectat din steaua centrală, iar aspectele diferite pe care le pot avea astfel de învelișuri sînt determinate de faptul că steaua respectivă posedă cîmp magnetic și mișcare de rotație axială. De aceea, aspectul materialului nebular se poate prezenta sub forma unui disc mai mult sau mai puțin întins, inel simplu sau dublu, elice etc., diametrele unghiulare putînd ajunge pînă la 12'.

În general, stelele din interiorul nebuloaselor planetare sînt foarte fierbinți, cea mai mare parte a energiei lor fiind emisă în domeniul ultraviolet, fapt pentru care, vizual, nici nu apar prea luminoase. Pe de altă parte, radiația ultravioletă a stelei centrale lovește atomii materialului nebular și creează starea de excitație.

Materialul din învelișurile nebulare se găsește în stare de expansiune, se dilată cu viteza de 10—40 km/s și, în același timp, participă la mișcarea de rotație axială. Densitatea materiei este de ordinul a 10^3 atomi/cm^3, iar temperatura cinetică este cuprinsă între 8 și 20 mii de grade.

Repartiția nebuloaselor planetare prezintă o concentrare puternică spre planul Galaxiei noastre, numărul celor cunoscute fiind de peste 1 200, dar numai în Galaxia noastră ar trebui să existe peste 50 000 de astfel de obiecte.

Prin structura lor fizică, nebuloasele planetare arată că avem de-a face cu stele puternic evoluate, materialul nebular fiind o caracteristică a unui anumit stadiu bine determinat din cursul evoluției stelare. Prin urmare, atunci cînd observăm astfel de obiecte vedem niște stele bătrîne care au suferit multe transformări în decursul vieții lor.

Din cunoașterea dimensiunilor aparente ale discurilor nebuloaselor planetare și a vitezei de expansiune, se poate determina depărtarea unor astfel de obiecte. Această situație este cu atît mai importantă, cu cît obiecte asemănătoare au fost descoperite și dincolo de limitele Galaxiei noastre.

TABELUL 4.8

Nebuloase galactice luminoase

Număr		Tipul nebu-loasei	α_{1950}	δ_{1950}	m	d a.l.	Constelația
NGC	M						
1952	1	RS	5h33,m3	+22°55'	8,4	4 000	Taurus (Neb. Crab)
1976	42	H II	5h34,3	—05°25'	5,4	1 500	Orion
6720	57	NP	18h52,9	+33°01'	9,3	5 000	Lyra
6853	27	NP	19h58,6	+22°40'	7,6	3 500	Vulpecula
7009		NP	21h03,0	—11°28'	8,4	3 000	Aquarius
7293		NP	22h28,5	—20°54'	6,5	600	Aquarius

RS = rest de supernovă,
NP = nebuloasă planetară,
H II = nebuloasă difuză, conține hidrogen ionizat

În tabelul 4.8 sînt incluse cîteva dintre cele mai interesante nebuloase galactice care pot fi cercetate în cadrul cercurilor de astronomi amatori din România. La capul fiecărei coloane este indicat conținutul corespunzător: numărul din catalogul NGC sau catalogul lui Messier *(M)*, tipul de nebuloasă, coordonatele ecuatoriale (α și δ), magnitudinea aparentă „globală" *(m)*, distanța *(d)* în ani lumină *(a.l.)* și constelația în care poate fi observată nebuloasa respectivă.

Capitolul 5

ASTRONOMUL AMATOR ÎN FAȚA ASTRONOMIEI EXTRAGALACTICE

[1], [6], [9], [12], [25], [26], [35], [40].

În paragrafele precedente ne-am referit de mai multe ori la corpurile cerești cu aspect nebulos care se pot observa în nopțile senine și fără Lună. Cu aceste ocazii am văzut că acele pete „difuze" de pe firmament sînt de natură diferită: roiuri de stele sau aglomerări de materie interstelară care fac parte din Galaxia noastră. Dar, în afară de acestea, pe bolta cerească se pot observa și unele obiecte nebuloase care, prin intermediul instrumentelor mari, pot fi descompuse în stele, iar observarea stelelor componente face posibilă determinarea depărtărilor pînă la care se găsesc astfel de aglomerări de stele.

Prin urmare, pe cale observațională s-a pus în evidență existența unor îngrămădiri stelare situate la depărtări mult mai mari decît distanța pînă unde se întinde Galaxia noastră. Aceste obiecte au fost numite la început nebuloase extragalactice, dar mai tîrziu, după ce s-a constatat că sînt niște sisteme stelare asemănătoare cu Galaxia, ele au primit denumirea de *galaxii*. Așadar, structura fizică și depărtarea sînt doar două caracteristici prin care acest grup de obiecte cerești se deosebește de celelalte obiecte cu aspect nebular care fac parte din Galaxia noastră, asupra cărora ne-am oprit în paragrafele precedente.

Din cauza distribuției în spațiu și a distanțelor mari în raport cu dimensiunile lor, nebuloasele extragalactice — galaxiile — se mai pot numi și *insule în Univers*.

5.1 Observarea sistemelor extragalactice — galaxii în Univers

Deși foarte îndepărtate, sistemele stelare extragalactice fiind foarte luminoase, unele strălucesc destul de puternic pentru a fi observabile cu ochiul liber sau prin intermediul unor instrumente modeste. Prezentăm aici cîteva dintre ele.

a) *Norii lui Magellan.* La reîntoarcerea lor, supraviețuitorii expediției lui Magellan în jurul lumii (1519—1522) au relatat că pe emisfera sudică a cerului se găsesc două pete luminoase, pete cunoscute astăzi sub denumirea de *Norii lui Magellan.*

Pe firmament, Norul Mare al lui Magellan, LMC (Large Magellanic Cloud), se proiectează printre stelele constelației Dorado, pe cînd Norul Mic, SMC (Small Magellanic Cloud), este situat în constelația Tucana. Acești nori sînt vizibili cu ochiul liber, fapt pentru care, în această parte, bolta cerească oferă „un spectacol unic, care face mai vie frumusețea plină de pitoresc a cerului austral și mărește farmecul peisajului", după cum se exprima marele naturalist Humboldt.

Norii lui Magellan sînt alcătuiți din stele, roiuri de stele și materie difuză, hidrogenul fiind răspîndit în tot volumul ocupat de ei, inițial au fost descoperite 35 roiuri globulare în Norul Mare și 5 în Norul Mic, unele roiuri fiind asemănătoare cu cele din Galaxia noastră. În general există însă peste 1 600 roiuri în Norul Mare și peste 100 de roiuri în Norul Mic.

Dintre sistemele stelare extragalactice, Norii lui Magellan sînt galaxiile cele mai apropiate de noi. De altfel, din cauza depărtării „mici" pe care acești nori o au în raport cu Galaxia noastră, ei sînt considerați sateliți ai acesteia, concluzie susținută și de observațiile care au pus în evidență existența unei punți de materie gazoasă între Norul Mare și sistemul nostru stelar.

— Norul Mare al lui Magellan are diametrul aparent de circa 12° (de 23 ori mai mare decît diametrul Lunii pline), diametrul liniar fiind de 32,6 mii ani lumină și corespunde unei depărtări de circa 150 mii ani lumină. Aici au fost detectate stele din populația I, stele supergigante foarte luminoase, nove, stele variabile etc. Are magnitudinea aparentă $m = +0{,}9$ care corespunde magnitudinii absolute $M = -17{,}4$.

— Norul Mic al lui Magellan are diametrul aparent de numai 4°, diametrul liniar de 7 mii ani lumină, magnitudinea aparentă $m = 2{,}9$ și cea absolută $M = -16{,}0$. El este mai puțin bogat în materie difuză și conține stele din populația II, roiuri stelare cu multe stele variabile etc.

Cu toate că Norii lui Magellan sînt situați în emisfera sudică și nu sînt accesibili observatoriilor din Europa și America de Nord, noi i-am prezentat aici pentru importanța lor în cercetările de astronomie. Mulți astronomi europeni s-au deplasat în emisfera sudică pentru a putea efectua observații asupra acestor sisteme stelare. Foarte probabil că primul dintre aceștia a fost John Herschel care, în anul 1847, s-a dus în Africa de Sud în mod special pentru a efectua observații.

b) *Galaxia din Andromeda (NGC—224 = M—31)*[1]. În ordinea depărtării față de noi, Marea galaxie din Andromeda prezintă un interes deosebit. Cu ochiul liber ea poate fi observată ca o mică pată luminoasă situată puțin la dreapta stelelor δ și β Andromedae. Are magnitudinea aparentă $m = +4{,}3$ și cea absolută $M = -19{,}8$. Este situată la o depărtare de aproape două milioane ani lumină, fapt care ne permite să observăm raze de lumină care au plecat de la sursa respectivă într-o epocă dinaintea apariției omului pe Pămînt.

Galaxia din Andromeda este asemănătoare cu Galaxia noastră, are un nucleu central care constituie partea cea mai luminoasă și vizibilă cu ochiul liber, în timp ce partea exterioară a nucleului se extinde pe circa 2 — 4 grade. Are o structură spirală (vreo șapte brațe) asemănătoare cu aceea a Galaxiei noastre, conține circa 10^{11} stele. Natura nebuloasă a acestui sistem a fost pusă în evidență de către Simon Marius (1612), ca obiect stelar fiind înregistrată de către Al Sufi în secolul al XI-lea.

Lîngă Marea galaxie din Andromeda ($M-31$ = NGC—224) se găsesc alte două galaxii: NGC—221 și NGC—205; acestea din urmă fiind mult mai puțin strălucitoare și mai puțin masive joacă rol de sateliți ai lui NGC—224. Examinarea amănunțită a datelor observaționale a scos în evidență faptul că și galaxiile NGC—147 și NGC—185 ar fi tot sateliți ai lui NGC—224. Prin urmare, în Andromeda ar exista o galaxie cel puțin *cvintuplă.*

Dacă Galaxia noastră formează cu Norii lui Magellan un sistem triplu, iar în Andromeda avem un sistem cvintuplu, este ușor de tras concluzia că nici galaxiilor nu le place viața „de unul singur" și ele au tendința de a trăi în colectivități mai mult sau mai puțin numeroase și cu structuri de la simplu la complicat.

c) *Galaxia din Triunghiul* (NGC—598 = $M-33$) are o structură spirală și, după Marea galaxie din Andromeda,

[1] Denumită impropriu, în trecut, „Nebuloasa din Andromeda".

este sistemul spiral cel mai apropiat de noi. Brațele spirale sînt puternic dezvoltate și pot fi rezolvate în stele. Aici au fost observate stele fierbinți de tipurile spectrale O și B, stele variabile de tipul cefeidelor, roiuri dispersate și globulare, regiuni de hidrogen ionizat (H II), nove etc. Se poate observa și în binoclu sau lunete mici.

d) *Galaxia NGC—3031 din Ursa Major* este asemănătoare cu galaxia din Andromeda. Are un nucleu strălucitor și două brațe spirale lungi care înconjură nucleul. Conține stele supergigante uriașe, benzi și filamente de materie obscură, stele variabile de tipul cefeidelor și nove. Se pare că cele două galaxii spirale și altele șase neregulate din regiunea respectivă ar forma un grup, dar acest lucru mai trebuie dovedit.

e) *Galaxia NGC—4594 (= M—104)* este văzută din profil avînd planul de simetrie orientat spre noi, fapt care face posibilă observarea unei benzi de materie obscură. Cercetările acestei galaxii au servit la punerea în evidență a stelelor componente care aparțin populațiilor I și II. Aici au fost observate și roiuri globulare.

f) *Galaxia NGC—5194 (= M—51)* din Canes Venatici are o structură în formă de spirală, brațele ei se înfășoară de-a lungul lor existînd o serie de benzi de materie obscură. Unele filamente de materie obscură sînt orientate spre nucleul galaxiei ajungînd pînă la regiunile centrale.

Galaxia NGC—5194 are o caracteristică remarcabilă care atrage atenția de la prima vedere, este vorba de un braț mult mai alungit decît celelalte, la extremitatea acestuia găsindu-se încă o galaxie — NGC—5195.

Așa cum rezultă din datele observaționale, brațul care leagă galaxiile NGC—5 194 și 5 195 este străbătut de filamentele care se observă și în corpurile acestor galaxii, fapt care dovedește că nu este vorba de un tablou aparent. Aici există o interacțiune reală între cele două galaxii.

În anul 1833, galaxia NGC—5194 a fost observată de către John Herschel care o vede ca pe o nebuloasă luminoasă însoțită de un satelit, punînd astfel în evidență existența unei nebuloase duble. Structura spirală a acesteia a fost detectată

în anul 1845 de către astronomul amator lordul William Parsons (1800 — 1867), un pasionat constructor de telescoape.

Tabelul 5.1 conține date importante privind cîteva dintre galaxiile mai interesante care se pot observa în cadrul cercurilor de astronomi amatori. În primele două coloane se găsesc numerele din catalogul NGC și din cel al lui Messier (M). Urmează apoi coloanele care conțin coordonatele ecuatoriale (α și δ) și magnitudinea aparentă.

Coloana a 6-a conține tipul galaxiei, asupra acestuia vom reveni în paragraful următor. Depărtatrea galaxiilor, d, este exprimată în ani lumină. În fine, ultima coloană conține denumirea constelației în care se proiectează obiectul respectiv pe bolta cerească.

Evident, aici am mai putea cita foarte multe galaxii frumoase al căror aspect contribuie la pitorescul sferei cerești și la furnizarea unor date privind condițiile de existență ale materiei la mari depărtări. Pentru moment, însă, considerăm că tabelul 5.1 conține un material suficient pentru primii pași în lumea extragalactică.

5.2 Proprietăți generale ale galaxiilor

Am prezentat mai sus cîteva dintre cele mai remarcabile galaxii. Alte galaxii au însă alte caracteristici care, într-o măsură sau alta, se deosebesc de cele amintite mai sus. De aceea, considerăm util să scoatem în evidență aici cîteva proprietăți generale și unele caracteristici care le diferențiază.

Aspectul exterior al galaxiilor este foarte diferit, dar cu toate acestea, pentru fiecare galaxie se pot găsi galaxii asemănătoare.

În vederea stabilirii unor trăsături comune ale galaxiilor, astronomul american Edwin Hubble a propus împărțirea lor în următoarele tipuri principale: a) eliptice (E); b) spirale (S) și c) neregulate (Irr). Dăm aici cîteva dintre cele mai importante caracteristici.

a) În categoria galaxiilor *eliptice* sînt incluse acele sisteme stelare extragalactice care au forme sferice sau elipsoidale, pe bolta cerească fiind văzute ca niște discuri rotunde sau turtite în care strălucirea descrește de la centru spre periferie. Ele conțin stele gigante roșii și galbene, pitice roșii și galbene și un număr de stele „albe" foarte luminoase. Dimensiunile

TABELUL 6.1

Galaxii

Numărul NGC	Numărul M	α_{1950}	δ_{1950}	m	Tipul	d u.l	Constelația
147		00h32,m0	+48°14'	10,6	E4	2,1	Andromeda
185		00h37,7	+48°14'	10,3	E0	2,1	Andromeda
205		00h39,2	+41°35'	8,9	E6/S01	2,1	Andromeda
221	32	00h41,6	+40°46'	9,9	E2	2,1	Andromeda
224	31	00h41,6	+41°10'	4,3	Sb	2,1	Andromeda
(Norul Mic al lui Magellan) 598		00h52,0	—72°56'	2,9	Irr	0,2	Tucana
	33	01h53,8	+30°38'	6,2	Sc	2,4	Triangulum
(Norul Mare al lui Magellan) 2403		05h23,7	—69°46'	0,9	Irr	0,2	Dorado
2903		07h34,9	+65°39'	8,8	Sc	6,5	Camelopardalis
3031	81	09h51,0	+21°36'	9,5	Sb	19,0	Leo
3034	82	09h53,9	+69°09'	7,9	Sb	6,6	Ursa Major
4258		09h54,4	+69°47'	9,2	Sc	6,5	Ursa Major
4472	49	12h18,0	+47°25'	8,9	Sb	14,0	Canes Venatici
4594	104	12h28,8	+08°06'	9,5	E4	37,0	Virgo
4736	94	12h38,8	—11°31'	9,2	Sb	37,0	Virgo
4826	64	12h60,0	+41°13'	8,9	Sb	14,0	Canes Venatici
5055	63	12h55,8	+21°48'	9,3	Sb	12,0	Coma Berenices
5194	51	13h14,8	+42°08'	9,3	Sb	14,0	Canes Venatici
5457	101	13h29,0	+47°18'	8,9	Sc	14,0	Canes Venatici
6822		14h02,4	+54°26'	8,3	Sc	14,0	Ursa Major
		19h43,8	—14°49'	9,2	Irr	1,7	Aquila

unor astfel de galaxii sînt cuprinse între 5 și 15 mii ani lumină, sînt sărace în materie gazoasă și au vîrsta de peste 10 miliarde ani. După gradul de turtire (abaterea de la forma sferică) aceste galaxii se subîmpart în opt grupe: E0, E1, ..., E7. În categoria galaxiilor eliptice intră circa 20% din cele cunoscute.

b) Galaxiile *spirale* au aspectul caracterizat prin prezența unor brațe care pornesc din nucleu și se înfășoară în jurul acestuia, indicînd astfel o mișcare furtunoasă — au caracteristici dinamice. Brațele spirale pot atinge dimensiuni de ordinul de mărime a 900 ani lumină în secțiune transversală.

După gradul de dezvoltare al brațelor, Hubble consideră următoarele două subclase.

i) Galaxii *spirale normale* la care brațele emerg din poziții opuse ale nucleului; pot să existe două sau mai multe brațe, de exemplu Marea Nebuloasă din Andromeda (NGC—224). Această subclasă este și ea subîmpărțită în trei grupe, după gradul de dezvoltare a spirelor și concentrare a nucleului *(Sa, Sb* și *Sc)*.

ii) Galaxii *spirale barate* în care nucleul este atît de turtit încît se aseamănă cu o bară de la extremitățile căreia pornesc brațele spirale care se răsucesc în jurul nucleului. Au simbolul *SB*, iar gradul de dezvoltare al barei este marcat prin literele *a, b* și *c*.

Galaxiile spirale sînt foarte numeroase, aici fiind incluse circa 77% din cele cunoscute.

c) În fine, *galaxiile neregulate* cu simbolul Irr (irregular) sînt acelea care nu au o formă bine definită cum sînt, de exemplu, Norii lui Magellan. Aici intră circa 3% din cele cunoscute, procentajele amintite aici fiind considerate destul de relative.

După luminozitate, galaxiile se pot împărți în:

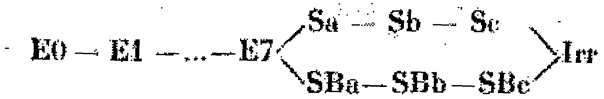
— galaxii supergigante (I) cu magnitudinea absolută $M = -20{,}0$

— galaxii gigante luminoase (II), gigante (III) și subgigante (IV) cu o magnitudine absolută medie $M = -15{,}0$

— galaxii pitice (V) care au magnitudinea absolută medie $M = -13{,}0$.

Cu aceste notații considerăm că am dat și explicațiile necesare pentru coloana a 6-a din tabelul 5.1.

În clasificarea lui Hubble, galaxiile ar fi distribuite după următoarea schemă:



În afară de tipurile amintite mai sus, în literatură se mai pot întîlni și alte notații pentru caracterizarea unui anumit grup de galaxii. Astfel, de exemplu, SO înseamnă galaxii pseudospirale sau SBO reprezintă galaxiile pseudospirale barate etc.

Așa după cum s-a arătat mai înainte, pentru diferite grupe de galaxii am acceptat niște magnitudini absolute medii, în realitate însă există o trecere continuă de la o categorie la alta. Astfel, putem aminti aici o serie de galaxii cu magnitudini absolute mult diferite de cele date mai sus. Drept un exemplu de acest fel amintim galaxia pitică descoperită de F. Zwicky în constelația Capricornus și care are $M = -6{,}5$, aceasta fiind mai puțin strălucitoare decît anumite roiuri globulare.

Clasificarea galaxiilor, așa cum este prezentată, a fost utilizată pentru unele speculații privind evoluția acestora. Ulterior, însă, au apărut o mulțime de ipoteze privind apariția și evoluția galaxiilor. În mod deosebit au fost întreprinse studii teoretice cu privire la modul de formare a brațelor spirale, în aceste studii fiind luată în considerare și prezența cîmpului magnetic. De asemenea se poartă discuții vii asupra faptului dacă galaxiile se rotesc în sensul înfășurării sau desfășurării brațelor spirale.

5.3 Distribuția galaxiilor

Pe bolta cerească galaxiile pot fi observate în orice direcție cu excepția planului Galaxiei noastre unde vizibilitatea este afectată de prezența materiei interstelare galactice. Se pare că pînă la magnitudinea aparentă $m = 23{,}0$ ar trebui să existe peste un milion de galaxii, dar dacă se iau în considerare și rezultatele obținute de radioastronomie, în spațiu trebuie să existe mai multe miliarde de galaxii care să intre în componența Metagalaxiei — partea observabilă a Universului.

a) *Grupul Local de galaxii*

Galaxiilor nu le place singurătatea, ele se asociază în grupe mai mici sau mai mari. Pentru grupele mai mari se utilizează noțiunea de *roi de galaxii*.

Un grup de galaxii care este alcătuit din Galaxia noastră și galaxiile cele mai apropiate este cunoscut sub denumirea de *Grup Local*. De aici fac parte vreo 18 galaxii dintre care cele mai masive sînt: Marea Nebuloasă din Andromeda, Nebuloasa din Triangulum și Norii lui Magellan. Celelalte galaxii componente sînt mult mai mici, dintre acestea una a fost descoperită în anul 1978 și se găsește în constelația Pisces. Ea are masa egală cu 300 000 mase solare, diametrul de 590 ani lumină și se află la distanța de 720 000 ani lumină. În prezent, 1981, se mai cunosc trei galaxii mici, în regiunea dintre Orion și Monoceros, care sînt bănuite că aparțin Grupului Local.

Din datele disponibile pînă în prezent, diametrul Grupului Local este evaluat la circa două milioane ani lumină, Nebuloasa din Andromeda fiind considerată la periferia acestei „îngrămădiri" de galaxii.

O caracteristică principală a unui grup de galaxii, deci și a Grupului Local, este aceea că în interiorul lui distanța dintre obiectele componente este mult mai mică decît distanța pînă la alte obiecte situate în afara lui.

Probabil că există și alte grupuri de galaxii asemănătoare cu Grupul Local, dar ele nu se pot observa din cauza distanțelor mari la care se găsesc.

În anul 1788, William Herschel a descoperit un roi stelar globular situat la circa 7° nord de steaua α Geminorum (Castor) care este cunoscută sub denumirea de NGC—2419, natura acestuia rămînînd discutabilă pînă în anul 1922.

În urma cercetării stelelor variabile care au fost găsite în NGC—2419 s-a ajuns la concluzia că acest roi se găsește la distanța de 210 000 ani lumină față de centrul Galaxiei noastre. Această depărtare este comparabilă cu aceea a Norilor lui Magellan, toate celelalte roiuri stelare globulare cunoscute fiind situate într-o sferă cu raza de cel mult 40 000 ani lumină (vezi tabelul 4.7) față de centrul Galaxiei. De aici a apărut ideea existenței unor roiuri stelare în spațiul dintre galaxii — mesageri intergalactici.

În ciuda depărtării sale mari, NGC—2419 are magnitudinea aparentă $m = 11{,}5$, diametrul aparent de 2′ (două mi-

nute de arc) și este observabil într-un telescop modest. Pentru anul 1980, poziția acestui roi era definită prin coordonatele ecuatoriale:

$$\alpha_{1980} = 7^h37^m, \qquad \delta_{1980} = +35°56'.$$

b) *Roiuri de galaxii*

Din punct de vedere structural, un grup de galaxii este o asociație mică de galaxii, el poate avea pînă la o sută de componente, caracteristica principală a unei astfel de familii de galaxii fiind faptul că aici nu se pune în evidență o concentrare spre centru. În schimb, pentru un grup de galaxii mult mai numeroase și în care se pune în evidență o concentrare centrală vom utiliza noțiunea de *roi de galaxii*.

Dacă ne amintim proprietățile structurale ale roiurilor stelare, grupele de galaxii le-am putea asemăna cu roiurile stelare dispersate, pe cînd roiurile de galaxii le-am putea asemăna cu roiurile stelare globulare.

Un roi de galaxii este o formațiune mare, aici putînd intra sute, mii sau chiar zeci de mii de galaxii componente, distribuția interioară este caracterizată printr-o concentrare centrală, densitatea spre centru fiind de milioane de ori mai mare decît aceea dinspre periferie.

Dintre roiurile de galaxii, ***Roiul din Virgo*** este cel mai apropiat de noi, se găsește la distanța de 36 milioane ani lumină și are diametrul liniar de 7,5 milioane ani lumină. Aici s-au observat multe galaxii strălucitoare, 203 din cele 1249 care sînt mai strălucitoare pe bolta cerească. Galaxiile pitice și neregulate se numără aici cu miile, dar există un număr destul de mare și de galaxii eliptice și spirale de toate tipurile. Deși roiul prezintă o concentrare a galaxiilor spre centru, contururile exterioare sînt neclare, aspectul exterior fiind de formă neregulată.

Roiul de galaxii ***din Coma Berenices*** este caracterizat prin luminozitățile mari ale galaxiilor componente, cele mai strălucitoare avînd magnitudinea absolută $M = -21{,}5$. Ele întrec considerabil luminozitatea Galaxiei noastre sau a Nebuloasei din Andromeda. Spre centrul roiului, distanțele dintre galaxii devin comparabile cu diametrele corespunzătoare. De remarcat este faptul că aici lipsesc galaxiile cu structură spirală bine conturată. În tabelul 5.2 am prezentat cîteva dintre cele mai accesibile roiuri de galaxii, datele respective fiind diferite în surse diferite. Aceasta înseamnă că se obțin date noi și cu precizie mai mare pe măsură ce progresează cercetările respective.

TABELUL 5.2

Roiuri de galaxii

Constelația în care se observă roiul	Numărul de galaxii cunoscute	Diametrul aparent în grade	Diametrul liniar în milioane ani lumină	Depărtarea în milioane ani lumină
Coma Berenices	11 000	12°	55	275
Virgo	2 500	40	26	36
Pegasus	500	4	13,0	189
Hercules	400	0,5	5,0	619
Cancer	300		20,0	179
Ursa Major	200	0,2	4,3	1239
Bootes	150	0,3	6,5	1239

Unii cercetători sînt de părere că și roiurile de galaxii au o tendință de a se asocia în roiuri de roiuri de galaxii, dar acest fapt mai trebuie verificat.

În legătură cu cercetarea roiurilor de galaxii se ridică o problemă deosebit de importantă — determinarea depărtării lor. Asupra acestei chestiuni dorim să insistăm puțin, mai ales pentru un astronom amator, care are acces la literatura privind roiurile respective. În acest caz, prin raționamente simple și calcule elementare se pot determina distanțe de ordinul miliardelor de ani lumină.

Dacă un roi este atît de îndepărtat încît stelele din interiorul galaxiilor componente nu se pot vedea separat, nu se pot aplica metodele obișnuite pentru determinarea distanțelor. De aceea, în astfel de cazuri, se face uz de morfologia galaxiilor, fiecare tip morfologic fiind caracterizat printr-o magnitudine absolută medie. Apoi, dacă într-un roi de galaxii observăm o galaxie de un anumit tip, *Sa* de exemplu, adoptînd pentru această magnitudinea absolută medie a grupului respectiv, se determină observațional magnitudinea aparentă, iar prin intermediul formulei (1.12) se determină distanța pînă la galaxia respectivă și de aici rezultă depărtarea ro-

lului de galaxii. Pentru ușurarea unor astfel de cercetări dăm aici tabelul 5.3 care este reprodusă după Demetrescu și Pirvulescu [9].

TABELUL 5.3

Magnitudinile absolute medii ale unor tipuri de galaxii

Tipul de galaxie	M	Tipul de galaxie	M
E 0	—17,35	Sc + SBc	—17,00
S 0	—17,04	SBa	—16,92
Sa	—17,33	SBb	—17,54
Sb	—17,37	Galaxii foarte strălucitoare	—20,25

Desigur, din compilarea unor date mai recente s-ar putea întocmi o tabelă asemănătoare cu 5.3, dar mult mai completă și cu rezultate mult mai sigure. Iată doar un exemplu de activitate la care sînt chemați să participe astronomii amatori care nu au posibilități tehnice de a efectua observații, dar care au acces la o bibliotecă cu noutățile la zi. Prin urmare, există foarte multe probleme la care sînt chemați să activeze astronomii din cercurile de elevi și studenți sau din cercurile de pe lîngă casele de cultură și astrocluburi.

În cazul cînd într-o galaxie îndepărtată se observă explozia unei supernove, pentru determinarea distanței se folosește metoda prezentată în paragraful 4.3 unde a fost vorba despre astfel de obiecte.

5.4 Fuga galaxiilor — Legea lui Hubble

Datele observaționale arată că galaxiile au spectre asemănătoare cu spectrele stelare, singura deosebire constînd în aceea că, în cazul galaxiilor liniile respective sînt mult deplasate spre extremitatea roșie a domeniului vizibil. De aici s-a desprins ideea că, dacă fenomenul respectiv este interpretat ca un efect Doppler, toate galaxiile prezintă o mișcare de îndepărtare, o recesie, viteza de îndepărtare fiind cu atît mai mare, cu cît este mai mare distanța la care se află galaxia cercetată. Această descoperire a fost anunțată în anul 1929 după care a urmat colecționarea unei serii de date observaționale pentru susținerea valabilității ei. Astfel, în urma perfecționării tehnicii de observație, în anul 1935 s-au efectuat determinări de viteze radiale pentru galaxiile roiului din Ursa Major, galaxii care aveau deja magnitudinea aparentă $m = 18{,}0$. În acest mod s-a constatat că roiul respectiv se îndepărtează de noi cu o viteză de 42 000 km/s, fapt care venea să susțină descoperirea lui Hubble.

Din examinarea corelației existente între distanțele pînă la anumite galaxii și vitezele lor de îndepărtare, Hubble ajunge la ideea expansiunii Universului, această concluzie fiind exprimată prin formula simplă

$$v = H \cdot d = c\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = c \cdot z \qquad (5.1)$$

unde H este constanta lui Hubble exprimată în $km.s^{-1}.Mpc^{-1}$; c reprezintă viteza luminii (km/s) iar $\Delta\lambda$ este deplasarea Doppler a unei linii spectrale de lungime de undă λ. Aici distanța d este exprimată în megaparseci (Mpc) iar v este viteza de îndepărtare (km/s).

Formula (5.1) reprezintă expresia matematică a legii lui Hubble, ea este obținută din observații și a fost verificată experimental de mai multe ori. Ea a fost considerată ca un instrument util pentru cercetarea distanțelor mari, fapt care rezultă din următoarele considerații:

Să scriem formula (1.12) sub forma

$$m = M + 5\log d - 5, \qquad (d \text{ în parseci}).$$

Aici ținem seama de faptul că

$$d \text{ (megaparseci)} = 10^6 d \text{ (parseci)}.$$

Apoi, în locul lui d înlocuim expresia lui din (5.1), astfel că

$$m = M + 5\log\left(\frac{c}{H}\,\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)10^6 - 5 = 5\log\left(c\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right) + M + 25 - 5\log H$$

care se mai poate scrie

$$m = 5 \log \varrho + M + C$$

unde am notat

$$C = +25 - 5 \log H = \text{constant.}$$

Dacă în diferite roiuri de galaxii vom considera un anumit tip de galaxii, care așa cum am văzut mai sus are o magnitudine absolută medie $\bar{M}$, atunci putem scrie

$$m = C' + 5 \log \varrho \qquad (5.2)$$

unde am notat

$$C' = +25 + M - 5 \log H.$$

Prin urmare, formula (5.2) arată că dacă formula (5.1) este corectă, între magnitudinea aparentă, m, și logaritmul vitezei de recesie a galaxiilor de același tip există o relație liniară, fapt care a fost confirmat pe cale observațională.

5.5 Radiogalaxiile

În paragraful 2.2 am amintit cîteva informații în legătură cu existența instrumentelor pentru cercetarea corpurilor cerești în afara domeniului optic. Printre acestea, radiotelescoapele ocupă un loc deosebit de important, rezultatele obținute cu ele depășind orice așteptare.

Așa cum se știe, radioastronomia se ocupă de recepționarea undelor radio care au lungimile de undă de zeci de mii, sute de mii și milioane de ori mai mari decît cele ale radiațiilor din domeniul optic. De aceea, una dintre probleme, în cadrul cercetărilor surselor de radiații radio, a fost aceea a identificării lor cu obiecte corespunzătoare care se observă în domeniul optic. În urma unor eforturi susținute pe care le-au depus o serie de cercetători, s-a ajuns la concluzia că pe bolta cerească există două categorii de radiosurse; una care este puternic concentrată spre planul de simetrie al Galaxiei noastre iar alta conține radiosurse care sînt distribuite, în mod nepreferențial, pe întreaga boltă cerească.

Sursele din prima grupă aparțin Galaxiei — sînt obiecte galactice: nebuloase galactice, rămășițe din exploziile unor nove sau supernove etc.

Sursele din grupa a doua sînt obiecte extragalactice cum sînt, de exemplu, unele galaxii, numai că intensitatea radiației observate nu depinde de intensitatea radiației din domeniul optic. S-a convenit să se utilizeze noțiunea de *galaxii normale* pentru acele galaxii în care energia radiației radio este mai mică decît energia radiată în domeniul optic. Exemple de acest fel putem cita: Galaxia noastră, Nebuloasa din Andromeda și multe alte galaxii despre care am vorbit în paragrafele precedente. La unele dintre acestea radiația radio este așa de slabă încît nici nu se poate detecta cu actualele mijloace tehnice.

Galaxiile care radiază mai multă energie în domeniul radio decît în cel optic se numesc *radiogalaxii*. Unele dintre acestea sînt atît de slabe în domeniul optic încît nici nu se pot detecta cu siguranță obiectele optice corespunzătoare Un exemplu de radiogalaxie este sursa *Cygnus A* care, de altfel, este una dintre cele mai puternice radiosurse. Din cercetări optice s-a constatat că Cygnus A este compusă din două galaxii, adică este o galaxie dublă de magnitudine aparentă $m = 18{,}0$, cele două componente fiind foarte „apropiate" una de alta.

Această radiogalaxie este situată la o distanță de circa 650 milioane ani lumină și are magnitudinea absolută $M = -20{,}5$. Este o supergalaxie mult mai luminoasă decît Galaxia noastră.

În domeniul radio, radiogalaxia Cygnus A emite de 10^{28} ori mai multă energie decît Soarele, în timp ce în domeniul optic raportul respectiv este de numai 10^{11}.

Radiosursa NGC—5128 situată în constelația Centaurus este de asemenea o radiogalaxie. Se găsește la o depărtare de aproximativ 13 milioane ani lumină, are formă eliptică și este „acoperită" cu o bandă obscură de praf. Emisia radio provine aproape în întregime de la doi nori de gaz ale căror centre sînt situate la circa 326 000 ani lumină de o parte și alta a galaxiei optice. Axa care trece prin norii radio și galaxia optică este perpendiculară pe planul determinat de banda obscură, fapt pentru care se crede că aici ar fi vorba de ciocnirea a două galaxii.

Și alte radiosurse au fost identificate cu galaxii optice. Astfel, galaxiile *Hydra A* și *Hercules A* au energia emisă în domeniul radioundelor de numai patru ori mai mică decît emisia în domeniul optic. Ambele galaxii sînt duble.

În legătură cu natura radiosurselor există mai multe ipoteze. Astfel Baade și Minkowski consideră că radiogalaxiile ar fi locul unde se ciocnesc două galaxii, energia radio fiind eliberată în urma procesului de frecare între ele a mediilor interstelare. În schimb, Ambarțumian susține că ar fi vorba de divizarea unei formațiuni uriașe în două galaxii, energia radio fiind emisă în urma trecerii materiei difuze dintr-o stare densă în una mai rarefiată prin procese explozive.

Astăzi se admite că emisia de energie radio este asociată galaxiilor duble, aici fiind vorba de două galaxii ale căror dimensiuni sînt comparabile cu distanța care le separă.

După cum se știe, galaxiile izolate sînt rare, una din 120 de galaxii eliptice și una din 400 de galaxii spirale. Observațional s-a stabilit o corelație între densitatea galaxiilor dintr-un roi și intensitatea energiei radio pe care acestea o emit.

Mecanismul posibil al emisiei radio este determinat de procesul transferului de gaz rece între două galaxii învecinate, gazul respectiv interacționînd și cu mediul intergalactic.

5.6 Quasarii — Corpurile cerești enigmatice

În cursul anilor 1950—60, radioastronomii din Cambridge (Anglia) erau preocupați de înregistrarea surselor cu emisie radio. Ei ajunseseră la întocmirea celui de al treilea catalog al unor astfel de obiecte cunoscute sub notația 3C. În acel timp precizia observațiilor ajunsese atît de mare încît se putea pune problema identificării obiectelor optice care să corespundă la anumite surse radio. În acest mod s-a constatat că la foarte multe surse radio le corespundeau galaxii asemănătoare cu Galaxia noastră. Mai existau în plus și surse radio pentru care nu se putea identifica corespondentul optic. Din acest motiv, la început se credea că este vorba de un nou tip de stele — *radiostele* — care ar avea emisia maximă în domeniul undelor radio.

În anul 1960, astronomul american Allan Sandage s-a ocupat de radiosursa 3C—48 (a 48-a sursă din cel de al treilea catalog din Cambridge) și a constatat că la acest obiect, în

domeniul optic, îi corespunde o stea de magnitudine aparentă $m = 16$ care, pe bolta cerească, se proiectează în constelația Triangulum. Această sursă avea, în ultraviolet, o emisie mai puternică decît emisia altor stele de magnitudini asemănătoare. În plus, în spectrul ei se găseau linii de emisie care nu se puteau identifica cu liniile spectrale cunoscute pînă atunci. De aceea, considerînd că este vorba de o nouă clasă de stele, Sandage și-a pus rezultatele în sertar, așteptînd ca timpul să clarifice noua situație a liniilor spectrale observate.

Prin ocultarea de către Lună a sursei 3C—273, în anul 1962, s-a constatat că acesteia îi corespunde o „stea" foarte albastră de magnitudine aparentă $m = 13$, în spectrul căreia de asemenea se găseau linii spectrale necunoscute. Aceste linii au fost examinate de către astronomul american Maarten Schmidt (de origine olandez) care a avut curajul să presupună că acest obiect are o deplasare pozitivă față de noi, o îndepărtare, în urma căreia liniile spectrale suferă o deplasare Doppler. În modul acesta, din analiza pozițiilor liniilor spectrale s-a constatat că, de fapt, era vorba de niște linii cunoscute care, însă, erau mult deplasate de la poziția lor obișnuită. De aici a rezultat apoi că este vorba de un obiect foarte îndepărtat, situat la o distanță mult mai mare decît cele la care au fost detectate galaxiile cele mai îndepărtate cunoscute pînă atunci. Ipoteza lui Schmidt s-a dovedit a fi justă, deplasarea spre roșu a liniilor spectrale ale sursei 3C — 273 fiind $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 0{,}16$.

Imitînd pe Schmidt, Jesse Greenstein și Thomas Matthews au reanalizat spectrul sursei 3C—48 și au găsit $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 0{,}37$.

Au urmat apoi alte identificări, astfel că în anul 1981 se cunoșteau peste o mie de obiecte asemănătoare cu sursele 3C—48 și 3C—273.

Din cauza aspectului acestor obiecte (diametrul aparent $< 1''$) și a energiei pe care o emit, ele au fost numite surse radio cvasistelare (quasi-stellar radio sources) de unde a rezultat denumirea de *quasar*.

Lăsînd la o parte faptul că primii quasari au fost descoperiți prin intermediul radiotelescoapelor, aceste obiecte se caracterizează prin „aspect stelar", exces de radiație în ultraviolet

și deplasare mare spre roșu. De aici întrebarea dacă nu cumva există o nouă clasă de obiecte cerești la care să fie comune caracteristicile amintite mai sus, diferită fiind doar intensitatea radiației radio?

Cercetările întreprinse la scară mare au arătat că, într-adevăr, quasarii sînt un grup compact de obiecte care pot să aibă sau nu radiație radio intensă. Și, mai mult, dacă ei nu ar fi fost descoperiți de către radioastronomi în mod întîmplător, prin caracteristicile lor quasarii ar fi fost descoperiți în mod sigur de către astronomia optică. În concluzie, grupa de obiecte cosmice cunoscută sub denumirea de quasari se caracterizează prin:

— imagini asemănătoare cu cele stelare;
— exces de radiație în infraroșu și ultraviolet;
— flux variabil al radiației în domeniul optic și radio;
— linii spectrale puternic deplasate spre roșu;
— luminozități foarte mari.

Dacă se utilizează formula (5.1) pentru quasarii 3C—48 și 3C—273 și se consideră constanta lui Hubble $H = 75$ Km.s^{-1} ⊙ Mpc^{-1} pentru distanțele la care sînt situate aceste obiecte avem:

$d = \frac{c \cdot z}{H}$ Mpc = 1480 milioane parseci = 5 miliarde ani lumină pentru quasarul 3C—48, și

$d = 640$ milioane parseci = 2 miliarde ani lumină pentru 3C—273.

Apoi, cunoscînd distanța și magnitudinea aparentă, utilizarea formulei (1.12) ne conduce la

$M = 13 + 5 - 5 \log 1480.000.000 = 18 - 45 = -27$

pentru 3C—273.

Astfel de calcule simple arată că un quasar emite de 100—1000 ori mai multă energie decît o galaxie.

Pe de altă parte, aspectul „stelar" al imaginilor quasarilor conduce la dimensiuni liniare relativ mici, de ordinul cîtorva ani lumină, pe cînd diametrul Galaxiei noastre este de 100 mii ani lumină.

Concluziile la care se ajunge prin raționamentele de mai sus, precum și alte probleme neamintite aici, au determinat pe unii astronomi să pună la îndoială atît valoarea constantei lui Hubble, cît și natura însăși a deplasării spre roșu a liniilor spectrale. Indiferent de mărimea adoptată pentru constanta

lui Hubble, rezultatele amintite mai sus rămîn la fel de stranii, fapt pentru care quasarii sînt considerați, încă, ca niște obiecte enigmatice.

În privința deplasării spre roșu, putem menționa aici faptul că există astronomi cu renume mondial care mai pun la îndoială natura Doppler a acesteia. Printre aceștia amintim pe Fritz Zwicky (1898—1974) care admitea deplasarea spre roșu ca un fapt real dedus din observații, dar nu era de acord cu natura Doppler a acesteia. El cerea o nouă interpretare care să ducă la concluzii mai puțin absurde.

În prezent se caută o legătură genetică între quasari și o serie de galaxii cu nuclee active care au fost observate în ultimul timp. Dar, cu toate acestea, se menține actuală întrebarea: Ce sînt quasarii care, dintr-un volum mai mic decît acela al unei galaxii, emit incomparabil mai multă energie decît galaxia respectivă?

Chiar dacă natura quasarilor continuă a fi o enigmă pentru noi, astronomii de azi acordă un interes deosebit acestor obiecte. De altfel, cu cît o problemă este mai greu de rezolvat, cu atît ne preocupă mai mult.

Problemele pe care le ridică quasarii sînt multe, unele dintre acestea fiind legate de geneza Universului — probleme de cosmologie în care mai predomină speculații, mai ales cînd este vorba despre condițiile inițiale. Astfel, de exemplu, quasarul OQ—127 este obiectul cu cea mai mare deplasare spre roșu. În cazul acestuia formula (5.1) duce la o viteză de îndepărtare mai mare decît viteza luminii, rezultat considerat imposibil. De aceea s-a propus ca, pentru legăturile dintre viteza de recesie, v, și deplasarea spre roșu, z, să se folosească expresia stabilită în cadrul fizicii relativiste

$$v = c \frac{(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1}$$

care, în cazul lui $OQ-127$ ($z = 3{,}53$) conduce la $v = 0{,}97c$, adică la o viteză mai mică, dar foarte apropiată de viteza luminii. Apoi, luînd în considerare formulele (5.1) și (5.3), avem mai departe

$$d = \frac{v}{H} = \frac{c}{H} \frac{(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1} = 3640 \text{ milioane parseci}$$

sau

$$d = 12 \text{ miliarde ani lumină.}$$

Dar—așa cum consideră mai mulți specialiști în teoria relativității — la mari depărtări, distanțele obiectelor cosmice nu sînt calculate corect cu formulele de mai sus. Iată-ne, deci, în fața unor probleme a căror rezolvare ne depășește, dar care ne interesează foarte mult. Astfel de chestiuni duc la cercetarea formei și structurii Universului și la evaluarea vîrstei acestuia. Prin urmare, prin natura sa, astronomia extragalactică ne deschide orizontul asupra existenței lumii materiale în care trăim. Această ramură a științei despre Univers este mai puțin accesibilă observațiilor care se pot efectua în cadrul cercurilor de astronomi amatori, în schimb ea trezește interesul pentru cercetare în cadrul altor ramuri ale astronomiei, care duc în mod direct la cunoașterea părții observabile a Universului. Dealtfel, prin toate activitățile astronomice se contribuie la formarea unui om de care are nevoie societatea modernă.

În fine, pe baza celor prezentate mai sus, se poate afirma, încă o dată, că astronomia este nu numai cea mai frumoasă și mai pură dintre ramurile științei, ea este și o mare generatoare de idei sublime și de ipoteze grandioase. Ea a fost inițiatoarea și firul călăuzitor al civilizațiilor, ea fiind aceea care i-a dat omului noțiunea de ordine și de lege, ridicîndu-l prin aceasta pe noi trepte ale cunoașterii.

ANEXA I (Data iuliană)

Numărul de zile de la anul 4713 î.e.n. ziua zero ianuarie, pînă la 12h timp universal (miezul zilei) al zilei zero din fiecare lună.

Anul	Ianuarie 0	Februarie 0	Martie 0	Aprilie 0	Mai 0	Iunie 0	Iulie 0	August 0	Septembrie 0	Octombrie 0	Noiembrie 0	Decembrie 0
1980	244 4239	4270	4299	4330	4360	4391	4421	4452	4483	4513	4544	4574
1981	4605	4636	4664	4695	4725	4756	4786	4817	4848	4878	4909	4939
1982	4970	5001	5029	5060	5090	5121	5151	5182	5213	5243	5274	5304
1983	5335	5366	5394	5425	5455	5486	5516	5547	5578	5608	5639	5669
1984	5700	5731	5760	5791	5821	5852	5882	5913	5944	5974	6005	6035
1985	244 6066	6097	6125	6156	6186	6217	6247	6278	6309	6339	6370	6400
1986	6431	6462	6490	6521	6551	6582	6612	6643	6674	6704	6735	6765
1987	6796	6827	6855	6886	6916	6947	6977	7008	7039	7069	7100	7130
1988	7161	7192	7221	7252	7282	7313	7343	7374	7405	7435	7466	7496
1989	7527	7558	7586	7617	7647	7678	7708	7739	7770	7800	7831	7861
1990	244 7892	7923	7951	7982	8012	8043	8073	8104	8135	8165	8196	8226
1991	8257	8288	8316	8347	8377	8408	8438	8469	8500	8530	8561	8591
1992	8622	8653	8682	8713	8743	8774	8804	8835	8866	8896	8927	8957
1993	8988	9019	9047	9078	9108	9139	9169	9200	9231	9261	9292	9322
1994	9353	9384	9412	9443	9473	9504	9534	9565	9596	9626	9657	9687
1995	244 9718	9749	9777	9808	9838	9869	9899	9930	9961	9991	0022*	0052*
1996	245 0083	0144	0143	0174	0204	0235	0265	0296	0327	0357	0388	0418
1997	0449	0480	0508	0539	0569	0600	0630	0661	0692	0722	0753	0783
1998	0814	0845	0873	0904	0934	0965	0995	1026	1057	1087	1118	1148
1999	1179	1210	1238	1269	1299	1330	1360	1391	1422	1452	1483	1513
2000	245 1544	1575	1694	1635	1665	1696	1726	1757	1788	1818	1849	1879

* Primele trei cifre sînt 245 în loc de 244

ANEXA II

Trecerea de la fracţiuni de zi la ore şi minute

	0z,00	0z,01	0z,02	0z,03	0z,04	0z,05	0z,06	0z,07	0z,08	0z,09	
0z00	0h00m	0h14m	0h29m	0h43m	0h58m	1h12m	1h26m	1h41m	1h55m	2h10m	0,00
0,10	2h24m	2h38m	2h53m	3h07m	3h22m	3h36m	3h50m	4h05m	4h19m	4h34m	0,10
0,20	4h48m	5h02m	5h17m	5h31m	5h46m	6h00m	6h14m	6h29m	6h43m	6h58m	0,20
0,30	7h12m	7h26m	7h41m	7h55m	8h10m	8h24m	8h38m	8h53m	9h07m	9h22m	0,30
0,40	9h36m	9h50m	10h05m	10h19m	10h34m	10h48m	11h02m	11h17m	11h31m	11h46m	0,40
0,50	12h00m	12h14m	12h29m	12h43m	12h58m	13h12m	13h26m	13h41m	13h55m	14h10m	0,50
0,60	14h24m	14h38m	14h53m	15h07m	15h22m	15h36m	15h50m	16h05m	16h19m	16h34m	0,60
0,70	16h48m	17h02m	17h17m	17h31m	17h46m	18h00m	18h14m	18h29m	18h43m	18h58m	0,70
0,80	19h12m	19h26m	19h41m	19h55m	20h10m	20h24m	20h38m	20h53m	21h07m	21h22m	0,80
0,90	21h36m	21h50m	22h05m	22h19m	22h34m	22h48m	23h02m	23h17m	23h31m	23h46m	0,90
	0z,00	0z,01	0z,02	0z,03	0z,04	0z,05	0z,06	0z,07	0z,08	0z,09	

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Aghekian, T.A., *Stele, Galaxii, Metagalaxia* (Traducere din limba rusă), Editura Ştiinţifică, Bucureşti, 1974.
2. Alexescu, M., *Cerul o carte pentru toţi*, Editura Albatros, Colecţia Cristal, Bucureşti, 1974.
3. Anestin, V., *Cum să înveţi stelele*, Institutul de Editură şi Arte Grafice, „Flacăra", Bucureşti, 1913.
4. Chiş, Gh., *Stele Variabile*, Anuarul Observatorului din Bucureşti, 1970.
5. Chiş Gh., Pal, A. *Astronomie* (Curs de iniţiere), fasciculele I şi II Univ. „Babeş-Bolyai", Cluj-Napoca, 1975.
6. Cristescu, C. *Despre galaxii*, Anuarul Observatorului din Bucureşti 1965.
7. Curea, I. *Atlas stelar descriptiv*, Universitatea din Timişoara, 1970.
8. Danjon, A., Couder, A. *Lunettes et télescopes* (Lunete şi telescoape) Editions de la Revue d'Optique Théorique et Instrumentale, Paris, 1935.
9. Demetrescu, Gh., Pîrvulescu, C. *Galaxii în Univers*, Editura Ştiinţifică, Bucureşti, 1967.
10. Dinulescu V., Dimitriu, A. *Relaţii Soare-Pămînt*, Anuarul Observatorului din Bucureşti, 1968.
11. Drâmbă, C. *Elemente de mecanică cerească*, Editura tehnică, Bucureşti, 1958.
12. Dumitrescu, Al., Vass, Gh. *Noutăţi din Cosmosul Îndepărtat*, Editura Enciclopedică Română, Bucureşti, 1973.
13. Kulikovski, P.G. *Spravocinik astronoma liubitelia* (Călăuza astronomului amator), Goztehizdat, Moskva, 1953.
14. Ley, W. *Observatorii cerului* (Traducere din limba engleză), Editura Tineretului, Bucureşti, 1968.
15. Marcus, E. *Date recente asupra planetelor mari*, Anuarul Observatorului din Bucureşti, 1975.

16. Marcos, E. *Astrometria contemporană*, Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Colecţia „Ştiinţă pentru toţi", Bucureşti, 1979.

17. Mioc, V., Mioc, D. *Cronica observaţiilor astronomice româneşti*, Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Bucureşti, 1977.

18. Mioc, V. *Cometele*, , Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Colecţia „Ştiinţă pentru toţi", nr. 119, Bucureşti, 1980.

19. Mioc, V., Oproiu, T. *Rachete spaţiale*, Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Colecţia „Ştiinţă pentru toţi", nr. 24, Bucureşti, 1978.

20. Nadolschi, V. *Astronomie generală*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1963.

21. Nadolschi, V. *Asteroizi şi comete*, Editura Albatros, Bucureşti, 1971.

22. Navaşin, V.P. *Telescop astronoma liubitelia* (Telescopul astronomului amator,) Izdatelstvo „Nauka", Moskva, 1979.

23. Popovici, C. *Stelele, Date fizice, Structură internă, Originea şi Evoluţia lor*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1958.

24. Şcurtu, V.V. *Observatorul astronomului amator*, Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Colecţia „Ştiinţă pentru toţi", nr. 117, Bucureşti, 1980.

25. Ştefan, I.M. şi colab. *Ghidul Cosmosului*, vol I. şi II, Editura Minerva, Colecţia „Biblioteca pentru toţi", Bucureşti, 1980.

26. Şklovski, I. *Radioastronomia* (Traducere din limba rusă). Editura Tehnică, Bucureşti, 1955.

27. Stănilă, G. *Sisteme calendaristice*, Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Colecţia „Ştiinţă pentru toţi", nr. 130, Bucureşti, 1980.

28. Şaronov, V.V. *Soarele şi observarea lui* (Traducere din limba rusă) Editura Tehnică, Bucureşti, 1959.

29. Teodorescu, N., Chiş, G., *Cerul — o taină descifrată...* Editura Albatros, Bucureşti, 1982.

30. Todoran, I. *Utilizarea telescopului şcolar pentru observaţii astronomice*, Gazeta Matematică (Seria B), Anul XV, nr. 1, pg. 9, Bucureşti, 1964.

31. Todoran, I. *Trois cents ans d'observation de l'étoile Algol*, L'Astronomie, Septembre, 1971.

32. Todoran, I. *Rolul stelelor duble fotometrice în Astronomie*, Anuarul Observatorului din Bucureşti, 1971.

33. Todoran, I. *Observarea stelelor variabile în cadrul cercurilor de elevi şi astronomi amatori*, Gazeta matematică, Seria B, nr. 4, 1972.

34. Todoran, I. *Tratarea matematică a datelor experimentale. Funcţii empirice*, Editura Academiei R.S.R., Bucureşti, 1976.

35. Todoran, I. *Cît mai aproape de stele. Astronomie generală*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1977.

36. Todoran, I. *Eclipsele şi prevederea lor*, Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Colecţia „Ştiinţă pentru toţi", nr. 15, Bucureşti, 1977.

37. Todoran, I. *Explozii în Univers*, Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Colecţia „Ştiinţă pentru toţi" nr. 90, Bucureşti, 1979.

38. Tsesevich, V.P., *Cito i kak nabliudati na nebe* (Ce şi cum să observăm pe cer), Gostehizdat, Moskva, 1963.

39. Ţifrea, E. *Soarele*, Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Colecţia „Ştiinţă pentru toţi" nr. 52, Bucureşti, 1978.

40. Ureche, V. *Astronomie generală*, Univ. „Babeş-Bolyai" Cluj-Napoca, 1975.

41. Ureche, V. *Astrofizica-Azi*, Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Colecţia „Ştiinţă pentru toţi", nr. 25, Bucureşti, 1978.

42. Vlaicu, St. *Cum ne putem orienta cu ajutorul boltii cereşti*, Colecţia S.R.S.C., Bucureşti, 1959.

CUPRINS

Introducere 5

Capitolul 1, **Observarea bolții cerești**

1.1. Strălucirea stelelor 11
1.2. Orientarea pe bolta cerească 13
a) Sisteme de coordonate sferice 13
b) Constelațiile și identificarea lor 26
c) Cataloage stelare, hărți și atlase cerești. Anuare astronomice 32
1.3. Luminozitatea stelelor 37
a) Depărtarea stelelor 37
b) Magnitudini absolute 40
c) Clasificarea spectrală. Diagrama H—R 41

Capitolul 2, **Astronomul amator constructor și beneficiar al instrumentelor astronomice**

2.1. Instrumente optice 47
a) Construirea lunetei (refractorul) 48
b) Construirea telescopului (reflectorul) 58
c) Reglarea sistemelor optice și așezarea lunetei în stația de observare 63
d) Instrumentele accesorii: spectrograful, fotometrul, ecranul solar și micrometrul 70
2.2. Instrumente pentru astronomia invizibilului 75

Capitolul 3, **Activitatea astronomilor amatori în cadrul cercetării corpurilor din sistemul solar**

3.1. Observarea meteorilor 80
3.2. Observarea planetelor pe bolta cerească 86

3.3. Astronomul amator în căutarea cometelor 99
3.4. Contribuția astronomilor amatori la observarea năvelor cosmice 109
3.5. Observarea Lunii 111
3.6. Eclipsele și observarea lor 115
a) Eclipsele de Lună 117
b) Eclipsele de Soare 118
c) Ocultarea stelelor de către Lună 121
d) Eclipsarea sateliților lui Jupiter 123
3.7. Soarele în centrul activității cercurilor de astronomi amatori 126
a) Fotosfera 127
b) Cromosfera 129
c) Coroana solară 130
d) Activitatea solară 131

Capitolul 4. **Galaxia în centrul preocupărilor astronomilor amatori**

4.1. Structura și dimensiunile Galaxiei 140
4.2. Observarea stelelor variabile în cadrul cercurilor de astronomi amatori 143
a) Observarea vizuală a stelelor variabile 149
b) Observarea fotografică a stelelor variabile 157
c) Observații fotoelectrice 157
d) Observații spectroscopice 158
e) Clasificarea stelelor variabile 159
4.3. Observarea novelor și supernovelor în cadrul cercurilor de astronomi amatori 171
4.4. Stele duble și multiple 176
4.5. Observarea roiurilor stelare 182
4.6. Observarea nebuloaselor galactice 188

Capitolul 5. **Astronomul amator în fața astronomiei extragalactice**

5.1. Observarea sistemelor extragalactice — Galaxii în Univers 193
5.2. Proprietăți generale ale galaxiilor 197
5.3. Distribuția galaxiilor 200
5.4. Fuga galaxiilor — Legea lui Hubble 204
5.5. Radiogalaxiile 206
5.6. Quasarii — Corpurile cerești enigmatice 208

Anexa I 213
Anexa II 214
Bibliografie selectivă 215

IN COLECȚIA CRISTAL
au mai apărut :

I.C. Boghițoiu
ELECTRONICA AJUTĂ

Septimiu Chelcea — Adina Chelcea
EU, TU, NOI
Viața psihică — ipoteze, certitudini

Vasile Cucu —
Gheorghe Vlăsceanu — Veselina Urucu
ORAȘELE MILIONARE ALE LUMII

Mariana Flămînd
AVENTURA LEMNULUI

Ilie Mihăescu
MONTAJE ELECTRONICE

IN COLECȚIA CRISTAL
au mai apărut :

Silviu Neguț
PAȘI PE TERRA

George D. Oprescu
CALEIDOSCOP AUDIO

Viorel Răducu
O COMOARĂ DIN... NIMICURI

Dan I. Seracu
PREPARAȚI SINGURI

Gospodin V. Svestarov
BIOLOGIA PENTRU TOȚI

Tudor Opriș
BIONICA DISTRACTIVĂ

Lector : OLGA TURBATU
Tehnoredactor : MARIANA ȘTEFAN

Bun de tipar 31.V.1983. Apărut 1983.
Comanda nr. 1902. Coli de tipar 14.

Comanda nr. 30 169
Combinatul poligrafic „Casa Scînteii"
București — Piața Scînteii nr. 1
Republica Socialistă România

Dragoș - Silviu
T. Bora

Scanare:
Dragos Bora
Bacau, Romania

Format pdf:
Ovidiu Vaduvescu
Mississauga, ON Canada

Feb 2004